

**PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE RIEGO CON USO DE FUENTES  
RENOVABLES**

LUIS JOSE NAVARRO CAAMAÑO  
HENRY RAFAEL KARAN MARENCO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA, "CUC"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2011

# **PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE RIEGO CON USO DE FUENTES RENOVABLES**

LUIS JOSE NAVARRO CAAMAÑO  
HENRY RAFAEL KARAN MARENCO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Director académico:  
**ADALBERTO OSPINO**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA, "CUC"  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2011

## **PROTOTIPO AUTOMÁTICO DE RIEGO CON USO DE FUENTES RENOVABLES**

Todo el trabajo descrito en este documento es de la autoría de los abajo firmantes y fue realizado bajo la dirección del tutor asignado, excepto donde se han hecho referencias al trabajo de otros.

---

Luis José Navarro Caamaño

---

Henry Rafael Karan Marengo

Certificado de aprobación:

Los abajo firmantes certificamos haber leído este trabajo de investigación dirigida y que, en nuestra opinión, es totalmente adecuado, en calidad y nivel de profundidad, para optar al título profesional.

---

Adalberto Ospino  
Docente Tiempo completo  
Facultad de Ingeniería Eléctrica

---

Milen Balvis Morejón  
Director de Programa  
Facultad de Ingeniería Eléctrica

***Dichosos los que trabajan por la paz porque ellos serán llamados hijos de  
DIOS (mateo 5, 9)***

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedicamos principalmente a DIOS, gracias a él hemos tenido la voluntad y las fuerzas necesarias para poder recorrer este largo camino y culminar nuestras metas.

Infinitas gracias a nuestros padres Ninoska Marengo Barandica, Abraham Karan, Luis José Navarro Torrado y Margarita Caamaño Sarmiento ya que si no fuera por su apoyo incondicional sus consejos y sus palabras, gracias a ustedes hoy somos ingenieros y ante todo personas. A ellos muchas gracias y sobre todo gracias por existir en nuestras vidas los queremos.

A nuestros hermanos Luis Fernando Navarro Caamaño, Reinet Navarro Caamaño, Abraham José Karan Marengo y Keyla Karan Marengo, gracias por estar siempre ahí para ayudarnos en las diferentes circunstancias vividas, también agradecemos a nuestros primos y tíos, en general a toda nuestra familia por apoyarnos en esta carrera.

A nuestros amigos Daniel Pérez, Luis de la osa, Shamir Arcón, por brindarnos la ayuda necesaria y en el momento justo, por hacernos vivir momentos felices en circunstancias difíciles.

A nuestros profesores y compañeros por hacer que este largo camino fuera más ameno y que todos los momentos vividos nos sirvieran como experiencia a utilizar en un futuro.

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas quienes nos han brindado su ayuda, su conocimiento y su apoyo incondicional. Queremos agradecerles a todos ellos puesto que sin su colaboración la realización de esta tesis no hubiera sido posible.

A nuestros padres agradecerles por haber brindado la oportunidad de poder estudiar y ser hoy lo que somos.

A nuestro asesor de tesis, el profesor e Ingeniero Adalberto Ospino, por brindarnos todos sus conocimientos con respecto a las Fuentes Renovables de Energía y por guiarnos a lo largo de estos dos semestres durante los cuales nos brindo los conocimientos necesarios para hoy poder presentar ante ustedes esta tesis.

Igualmente, agradecer al Ingeniero Jorge Iván Silva por brindarnos los conocimientos necesarios para una correcta presentación sobre el informe escrito, por aconsejarnos y guiarnos a lo largo de este semestre, por su paciencia y brindarnos su amistad.

A los ingenieros Neder Pupo, Carlos Suarez, Pablo Coronel, Jorge Balaguera, Cesar Gil entre otros, quienes nos ayudaron y brindaron todos los conocimientos que hoy en día nos convierten en unos grandes ingenieros con bases y principios, por soportarnos en las clases y ante todo por su ayuda cuando más lo necesitamos a todos y cada unos de ustedes les estamos muy agradecidos, DIOS los guarde y proteja siempre, muchas gracias.

A la Decana y Profesora Ingeniera Milen Balbis por tolerarnos tanto durante nuestra estadía en esta institución, por brindarnos sus consejos y conocimientos a usted muchas gracias, DIOS la bendiga.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
RESUMEN DEL PROYECTO .....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
1. OBJETIVO GENERAL .....	17
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
4. DISEÑO METODOLÓGICO .....	18
5. ESTADO DEL ARTE .....	20
6. MARCO TEÓRICO .....	23
6.1 Definiciones .....	23
7. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO .....	44
7.1 DISEÑO fotovoltaico .....	44
7.1.1 Orientación de los Módulos FV .....	44
7.1.2 Estructura de soporte .....	44
7.1.3 Dimensionamiento de los módulos.....	45
7.1.4 Almacenamiento de la energía eléctrica .....	48
7.1.5 Regulador de carga .....	50
7.1.6 Sistema de adaptación de corriente (inversor).....	52
7.2 Diseño sistema de control .....	53
7.2.1 Programación del PIC 16F628 .....	53
7.3 Diseño sistema de riego .....	57
7.3.1 Riego por aspersión.....	57
7.3.2 Depósito de agua.....	61

7.4	DISPOSICIÓN FINAL DEL SISTEMA	66
7.4.1	Topología del sistema.....	66
7.5	DELIMITACIÓN	70
7.6	DELIMITACIÓN ESPACIAL	70
7.7	ALCANCE	70
7.8	LIMITACIONES	70
8.	DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA .....	71
8.1	Compontes de Fuentes renovables	71
8.1.1	Módulos fotovoltaicos .....	71
8.1.2	Almacenamiento Batería .....	74
8.1.3	Regulador de carga .....	75
8.1.4	Inversor de voltaje .....	76
8.1.5	Componentes Electrónicos.....	77
8.1.6	Componentes Mecánicos .....	82
8.1.7	Pruebas a prototipo completo.....	86
9.	RESULTADOS .....	90
10.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	91
11.	ANEXOS.....	93



## LISTA DE FIGURA

Figura 1. Mapa de radiación anual promedio de Colombia .....	24
Figura 2. Celda Solar .....	28
Figura 3. Efecto fotoeléctrico.....	29
Figura 4. Panel Solar Fotovoltaico .....	30
Figura 5. Corte transversal de un panel fotovoltaico.....	31
Figura 6. Batería de alta profundidad.....	32
Figura 7. Regulador o Controlador de carga .....	32
Figura 8. Inversor de Voltaje .....	33
Figura 9. Diseño de un Microcontrolador .....	36
Figura 10. Riego por inundación .....	39
Figura 11 Riego por surcos .....	40
Figura 12 Riego por aspersión .....	42
Figura 13. Estructura de soporte.....	45
Figura 14. Variación del voltaje en una batería con regulador de carga .....	51
Figura 15. Conexión de regulador de carga.....	52
Figura 16. Programa en microcode .....	55
Figura 17. Circuito eléctrico.....	56
Figura 18. Tarjeta controladora .....	56
Figura 19. Zona de Riego.....	59
Figura 20. Contenedor de agua.....	61
Figura 21. Especificaciones físicas del depósito de agua.....	62
Figura 22. Sistema de riego diseñado.....	66
Figura 23 Conexión de módulos FV.....	68
Figura 24 Conexión de Baterías al regulador de carga .....	69
Figura 25. Corriente y voltaje característicos del modulo FV KD135SX-UPU, a varios niveles de temperatura (a) y a varios niveles de irradiancia (b).....	71
Figura 26. Características Físicas .....	71
Figura 27. Batería Trojan alta profundidad.....	74
Figura 28. Salidas Pines.....	77
Figura 29. Código de colores para resistencias .....	80
Figura 30. Bomba Sumergible Karson .....	82
Figura 31. Modulo fotovoltaico de Prueba.....	83
Figura 32. Prueba a Bomba Karson.....	84
Figura 33. Bomba en depósito de agua .....	85
Figura 34. Pinza amperimétrica.....	85
Figura 35. Batería e inversor .....	86

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Placas Fotovoltaicas .....	26
Cuadro 2. Unidades de presión más frecuentemente usadas .....	43
Cuadro 3. Especificaciones Físicas del Tanque .....	62
Cuadro 4. Características Específicas .....	73
Cuadro 5. Especificaciones batería Trojan .....	75
Cuadro 6. Descripción de pines del PIC 16F628 .....	78
Cuadro 7. Características Eléctricas Bomba Sumergible .....	83
Cuadro 8. Prueba a Bomba Sumergible .....	84
Cuadro 9. Mediciones a batería .....	88

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.	$Cd = P * n * t$ .....	46
Ecuación 2.	$P = Vn * Ic$ .....	46
Ecuación 3.	$R = 1 - kb - kc - kv * 1 - ka * NPd$ .....	47
Ecuación 4.	$E = EtR$ .....	47
Ecuación 5.	$H KWhm2 = I KWm2 * HPS (h)$ .....	47
Ecuación 6.	$Np = E0.9 * Wp * HPS$ .....	48
Ecuación 7.	$Cu = Cb * Pdmax$ .....	49
Ecuación 8	$C = E * NV * Pd$ .....	49
Ecuación 9	$Np = CCb$ .....	50
Ecuación 10.	$P = QS$ .....	59
Ecuación 11.	$TR = NDP$ .....	60
Ecuación 12.	1 bar = 9.88 m.c.a. ....	64
Ecuación 13.	8m.c.a.= 0.809 bar .....	64
Ecuación 14.	1 bar = 14.5 psi .....	64
Ecuación 15.	0.809 bar = 11.73 psi .....	64
Ecuación 16.	$I = Potenciavoltave \rightarrow PV$ .....	67

## ANEXOS

Anexo 1. Sistema de llenado.....	93
Anexo 2. Prototipo de riego .....	93
Anexo 3. Conexión para carga de batería.....	94
Anexo 4. Prueba a aspersores .....	94
Anexo 5. Ubicación de paneles solares y tanque .....	95
Anexo 6. Ubicación del punto de control.....	95
Anexo 7. Uso deficiente de recursos.....	96
Anexo 8. Riego inapropiado A.....	96
Anexo 9. Riego inapropiado B.....	97
Anexo 10. Pruebas a prototipo A.....	97
Anexo 11. Pruebas a prototipo B.....	98
Anexo 12. Pruebas a prototipo C .....	98
Anexo 13. Espacio donde implementar prototipo.....	99

## INTRODUCCIÓN

El planeta atraviesa momentos difíciles en materia de recursos energéticos, los combustibles fósiles cada día son más escasos. Energéticos como el petróleo, el gas y el carbón se están viendo disminuidos debido al crecimiento de la población y sus necesidades de energía. La creación de centrales nucleares aunque eficientes y de bajo costo proporciona un peligro latente para la población mundial, como se evidencio en los acontecimientos ocurridos en la central nuclear de Chernóbil (Ucrania) y la central nuclear Fukushima (Japón). Por estas razones el mundo se encuentra en la búsqueda de nuevas formas de generación de energía limpia y renovable que logre satisfacer a descendencias futuras.

Actualmente, según la UPME: “las energías renovables, cubren cerca del 20% del consumo mundial de electricidad”<sup>2</sup>; no obstante, estas nuevas tecnologías se encuentran en un proceso de crecimiento, el cual se ve poco apoyado por organismos estatales. Es evidente que las instituciones privadas están proporcionando los medios necesarios para el estudio de diferentes tipos de tecnologías aplicadas al uso de los recursos naturales renovables como fuente alternativa para la generación de energía. Teniendo en cuenta la fuente, las energías renovables se han clasificado en: Energía solar, Energía eólica, Energía de la biomasa, Energía hidráulica, Energía mareomotriz, Energía geotérmica y Energía oleo motriz. .

Instituciones de educación superior se suman a esta iniciativa impulsando cátedras que proporcionan el conocimiento necesario para realizar estudios y proyectos enfocados hacia el uso de las fuentes renovables como alternativa de uso de los combustibles no renovables, estimulando así, el uso adecuado de los recursos naturales y cuidado del medio ambiente.

Basado en las cátedras propuestas por la institución educativa Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, el presente documento busca satisfacer las necesidades de un proyecto que avale la labor realizada por la corporación y dé muestras del compromiso de está hacia el medio ambiente y hacia el uso de las fuentes renovables.

---

<sup>2</sup> UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). Energías renovables: Descripción, tecnologías y usos finales, Bogotá D. C, - Colombia. Ministerio de minas y energía.7 p.

Este documento contiene un proyecto enfocado al uso de la energía solar como fuente alternativa de energía para el riego de una zona verde (jardín) de la institución educativa Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, con el uso de herramientas eléctricas y electrónicas, las cuales permitirán que se realice la operación de forma óptima y completamente independiente.

El presente documento se apoya en la aplicación de instrumentos de ingeniería, programas de cómputo y estudios ambientales para lograr resultados efectivos, no solo en el uso de la energía solar sino también en el uso de un recurso tanpreciado como el agua.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este proyecto se enfoca al uso de los módulos fotovoltaicos como fuente alternativa de energía para lograr satisfacer una necesidad de riego de jardines y zonas verdes de la institución educativa Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, de forma automática. Los módulos fotovoltaicos, serán dispuestos en un arreglo que permita acumular en baterías la electricidad obtenida y realizar el de las zonas previstas tanto noche como de día.

La energía eléctrica obtenida servirá para activar el sistema de control, el cual cuenta con un software previamente establecido que permitirá encender y apagar, según sea su programación, una bomba sumergible ubicada dentro de un depósito de agua dispuesto para el riego de la zona establecida. El sistema será completamente automático, los módulos fotovoltaicos brindarán la energía requerida, mientras que el sistema de control se encargará de dar las órdenes de cómo debe actuar la bomba para realizar el riego mediante los aspersores.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la fuerte tendencia de obtener conocimientos acerca de las aplicaciones y los beneficios de las fuentes renovables, la Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, en su programa de Ingeniería Eléctrica ha puesto al servicio de sus estudiantes la cátedra de fuentes renovables de energía I y II, contando también con un diplomado y especializado en esta área. Entonces surge el interrogante: **¿Por qué no hay una aplicación de fuentes renovables dentro de la institución, teniendo como rama de aplicación en el programa el uso de fuentes renovables?**

La “CUC” no posee un sistema de riego en sus jardines y zonas verdes con lo cual genera una deficiencia en la presentación estructural de la institución, esta es una necesidad apremiante debido a que la Universidad exhorta al cuidado del medio ambiente. Otro de los faltantes dentro de esta necesidad, es que no existe un procedimiento eléctrico conectado al sistema de riego de estas zonas.

Por último, no existe un uso eficiente del recurso del agua en la institución (ver anexo 7), debido a que no se cuenta con el conocimiento necesario para realizar el riego de los jardines y zonas verdes para así racionalizar mejor este recurso.



## **2. JUSTIFICACIÓN**

El proyecto está dirigido a suplir las necesidades de riego de jardines y zonas verdes que se encuentran en la Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, implementando las fuentes renovables de energía, por lo tanto se realizara un prototipo que buscara beneficiar a la institución de forma que se logre promover una cultura de uso eficiente de los recursos y la utilización de la energía solar como fuente alternativa para alcanzar ahorros en energéticos.

Este proyecto busca una autonomía en el riego de las zonas verdes puesto que en muchas de estas no se posee un riego continuo y parejo de las plantas que se encuentran en estos lugares, provocando el deterioro de las mismas y evidenciando un notorio descuido de estos jardines. Es por esto que el prototipo se encargara de realizar la tarea del riego de estas zonas verdes de forma independiente, sin que exista la necesidad de que un operario de mantenimiento este supervisando la acción del mismo. El prototipo será energizado por medio de paneles fotovoltaicos que permitirán que todo el sistema funcione de manera autónoma, sin que se necesite suministro energético de la subestación que posee el plantel.

### **3. OBJETIVOS**

#### **1. OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Diseñar un prototipo de un sistema de riego automático alimentado con energía solar.

#### **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Diseñar un sistema de riego con uso de módulos fotovoltaicos.
- ❖ Caracterización del sistema de riego.
- ❖ Construir un prototipo de riego alimentado con energía solar.

## 4. DISEÑO METODOLÓGICO

Para realizar el prototipo de riego automatizado con el uso de fuentes renovables se consideraran las siguientes etapas de desarrollo del proyecto:

- **ETAPA 1:** Recopilación de información: En esta etapa es necesario conocer las características y el funcionamiento de los distintos componentes que conforman la instalación del mismo, para esto se realizará una investigación de fuentes bibliográficas y páginas de web, con la finalidad de comprender los aspectos básicos de la generación de electricidad a partir de celdas solares y los principios de funcionamiento de éstas y de los paneles, reguladores de carga, inversores y banco de baterías, la automatización del sistema a partir del Microcontrolador y su programa asociado, el sistema actuador que comprende una bomba sumergible, aspersores y demás equipos que conforman el sistema. La investigación abarcará además las técnicas de diseño que se emplean actualmente para la elaboración de proyectos de este tipo.

En el proceso de estimar el nivel de radiación en la zona de interés, se cuenta con un documento llamado “Atlas de Radiación Solar de Colombia”, de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME). En dicho documento se especifican los niveles de radiación solar en distintas localidades de Colombia, mapas de radiación para 2005. Los datos brindados por este documento deberán compararse con datos suministrados por otras fuentes similares, para tener una mejor aproximación del valor real de la radiación solar promedio del área a trabajar en la costa atlántica, adicionalmente se realizaran pruebas de campo que ayuden a corroborar la información obtenida.

- **ETAPA 2:** Cálculos y procedimientos matemáticos: Para la estimación de la carga, se tiene el detalle de la capacidad de la bomba sumergible (Potencia), además del consumo de energía del sistema automatizado. Es necesario establecer un promedio de la potencia que consume cada aparato, así como de la cantidad de horas que se utiliza diariamente cada uno de dichos equipos, para determinar de esta forma cuál es la carga total que se requiere alimentar a partir del sistema generador fotovoltaico. Para este cálculo, deberán aproximarse también las posibles pérdidas que se

dan en el sistema (pérdidas en cables, eficiencia de los componentes). En esta etapa también se tendrán en cuenta los cálculos de caudal y tubería para el sistema actuador.

- **ETAPA 3:** Selección y compra de materiales: La investigación realizada sobre los equipos fotovoltaicos disponibles proporcionados por la Universidad y sus principales características obtenida ingresando a los sitios web de los principales distribuidores de este tipo de componentes, que generalmente brindan información explícita sobre los aspectos más relevantes de los equipos en cuestión (eficiencia, capacidad, costos, etc.), servirá como plataforma para la selección de otros equipos necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto, tales como la bomba sumergible, aspersores y sistema controlador.
- **ETAPA 4:** Programación de sistema de control: Para el óptimo funcionamiento del sistema de control es necesario contar con un Microcontrolador (PIC 16F84), el cual se encuentra asociado a distintos componentes (resistencias, cristal de cuarzo, condensadores, etc.), para que su labor sea la correcta. Adicionalmente este Microcontrolador se cargará con un software especializado en lógica programable, la cual permitirá que sea posible una interface entre el Microcontrolador y los dispositivos periféricos (bomba hidráulica).
- **ETAPA 5:** Construcción del sistema en físico: una vez completadas las anteriores etapas en el diseño del proyecto, es posible, construir físicamente el armado del prototipo de riego automatizado con el uso de fuentes renovables, para lo cual se dispondrá una parte del área externa de la institución educativa Corporación Universitaria de la Costa, “CUC”, y conformar el siguiente arreglo: módulos solares, regulador de carga, baterías, inversor, Microcontrolador y sus componentes asociados, bomba hidráulica sumergible, depósito de agua, tubería y aspersores.
- **ETAPA 6:** Pruebas y resultados: En esta etapa, se realizarán pruebas al arreglo completo del prototipo de riego automatizado con el fin de corroborar el correcto funcionamiento de todo el sistema, transportando el sistema a campo para analizar su funcionamiento. Estas pruebas servirán de medida para optimizar resultados y poder corregir errores.
- **ETAPA 7:** Resumen de cálculos.
- **ETAPA 8:** Correcciones.
- **ETAPA 9:** Sustentación.

## 5. ESTADO DEL ARTE

### **“Huerta Sostenible, Proyecto del segundo año de enseñanza secundaria de la Escuela Comunitaria de Campinas (Brasil)<sup>3</sup>”**

En Brasil se realizó un proyecto<sup>4</sup> por los alumnos de la escuela comunitaria de Campinas, es una huerta sostenible el cual consta de un panel solar fotovoltaico que provee energía eléctrica a una bomba sumergible alimentada a 12 voltios dentro de un tanque el cual es capaz de alimentar o suministrar agua a dos aspersores que son los encargados de irrigar a los cultivos que se encuentran en el lote, que constan de tres parcelas, las cuales consta de una gran variedad de vegetales; aparte de esto este sistema también está constituido por un cerebro o punto de mando el cual consta de una batería, un timer que es el encargado de controlar el sistema de riego automático mediante la programación que es escogida previamente, también podemos encontrar un regulador de carga para evitar variaciones en la alimentación a los equipos de control, y para asegurar que la batería siempre este cargada para la alimentación de todo este sistema. Este prototipo es alimentado en general a 12 voltios y a una corriente máxima otorgada por la batería de 7.5 Amp (amperios) y una potencia máxima de 20 vatios.

### **“Uso de la energía solar en la automatización del riego<sup>5</sup>”**

En Cuba se está utilizando una nueva práctica para el cultivo de frutas, se trata de la utilización de la energía solar fotovoltaica en la optimización de los recursos energéticos, esta nueva forma de siembra representa un avance en la racionalización de los recursos (energía eléctrica y agua) involucrados en el cultivo, es decir, que utilizando la energía solar FV se pudo implementar un sistema de riego localizado y automatizado. Este proyecto se lleva a cabo en el

---

3 Escuela de Brasil. “escuela comunitaria de Campinas”[artículo de internet] <<http://ecc-ingles.blogspot.com/2010/11/huerta-sostenible-riego-automatico-por.html>> (consulta: 25 de abril 2011)

4 Escuela de Brasil. “escuela comunitaria de Campinas”[video de internet] <http://www.youtube.com/watch?v=Elk75p1zmQA> (consulta: 25 de abril de 2011)

5 Luis Rodríguez Manuel Leal. Uso de la energía solar  
<[http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_ao\\_95-2010/Rev%202002\\_1/04energiasolar.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202002_1/04energiasolar.pdf)>  
(consulta: 24 de agosto de 2011)

“Plan Vividero El Limoncito en la Provincia de Holguín, Cuba” en donde se implemento el uso de paneles solares, electro-válvulas, sistemas de control y tuberías a lo largo de todo el cultivo, este sistema es abastecido por una presa la cual está situada a 50 metros de altura y 10 Km de distancia lo cual ayuda mucho a este proyecto ya que se utiliza la caída o la gravedad para otorgarle un caudal al liquido. El sistema automático con energía renovable se instaló en una caseta ubicada en el centro del área de riego, donde se colocaron los paneles solares, las baterías y el regulador de carga. El sistema automático trabaja de forma ininterrumpida, gobernando las válvulas situadas en los cabezales de riego y tiene una autonomía de 5 días, garantizando el riego automático en condiciones de muy baja iluminación (días con gran nubosidad). Esto es posible debido al bajo consumo energético de los mecanismos y al accionamiento hidráulico de las válvulas. La implementación de un sistema como este también otorga grandes beneficios como:

- Se obtiene un ahorro de agua del 6-10%, al cumplirse con el programa de riego.
- Ahorro y mejor aprovechamiento del fertilizante.
- Se facilita el riego nocturno, con lo que se eleva la uniformidad del riego.
- Mejora la calidad operativa del sistema, aumentando su eficiencia.
- Posibilita el riego de alta frecuencia, pudiendo fraccionarse la norma de riego diaria para obtener un mejor uso del agua.
- Protege al sistema de riego contra roturas debido a errores o negligencias, con lo cual se alarga su vida útil.
- Aumenta la exactitud en la aplicación de la norma de riego al cultivo, lo que contribuye a alcanzar producciones agrícolas mayores y de mejor calidad, a un menor costo.
- Ayuda a proteger el medio ambiente

Entre otras muchas son las razones que motivan a la implementación de sistemas semejantes al que se está utilizando en Cuba.

### **“Instalación de sistema de riego con energía solar municipio de Sensenti, Departamento de Ocotepeque, Honduras<sup>6</sup>”**

Unas tres familias miembros de la caja rural “Unidos Venceremos”, de la aldea San Antonio del municipio de Sensenti, departamento de Ocotepeque, serán beneficiadas directamente y otras 15 familias en forma indirecta, con la instalación de un sistema de riego por bombeo con energía solar.

La instalación del sistema de riego tendrá un área de dos manzanas parceladas y tiene como objetivo, mejorar las condiciones de vida de las familias participantes, quienes tendrán la oportunidad de producir tres o más cultivos al año, garantizando de esta manera su seguridad alimentaria.

El director del PRODERT, Daniel Domínguez, al respecto manifestó qué “pretendemos implementar un proyecto de energía renovable, con características de sostenibilidad desde el punto de vista técnico, financiero y administrativo, para que la población aproveche sus recursos naturales”, aseguró.

Por su parte el director de RELATA, Arturo Hernández, dijo que una de las ventajas del sistema de riego con energía solar, es que se, no emite carbono en la atmósfera al no utilizar combustibles fósiles, (petróleo, gas, carbón), con lo que se protege el medio ambiente, además tiene una utilidad de 10 a 20 años.

Esta tecnología consiste en un diseño del arreglo fotovoltaico que comprende un porta panel y paneles solares, además, una línea de conducción y un tanque de almacenamiento, la fuente de agua será del río Sixe, de esa comunidad.

La instalación del sistema de riego, es a través de un convenio de cooperación suscrito entre el Proyecto de Desarrollo Rural Sostenible de Zonas de Fragilidad Ecológica, PRODERT, y la Red Latinoamericana de Tracción Animal y Tecnología Apropriada, RELATA, de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, SAG.

---

6 Foro de energía solar “[artículo de internet]

[http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/69\\_sistemariego\\_energiasolar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/69_sistemariego_energiasolar.html)  
(consulta: 24 de agosto de 2011)

## 6. MARCO TEÓRICO

A continuación se describen las definiciones y consideraciones necesarias para el desarrollo del proyecto de grado.

### 6.1 DEFINICIONES

Las definiciones abarcan las consideraciones necesarias para un completo entendimiento de los recursos necesarios para la realización del proyecto, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

- Radiación solar<sup>7</sup>: Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Se comporta prácticamente Como un cuerpo negro el cual emite energía a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía por unidad de tiempo y área que alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$  (vatio por metro cuadrado).

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: **la radiación directa y la radiación difusa**. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables.

---

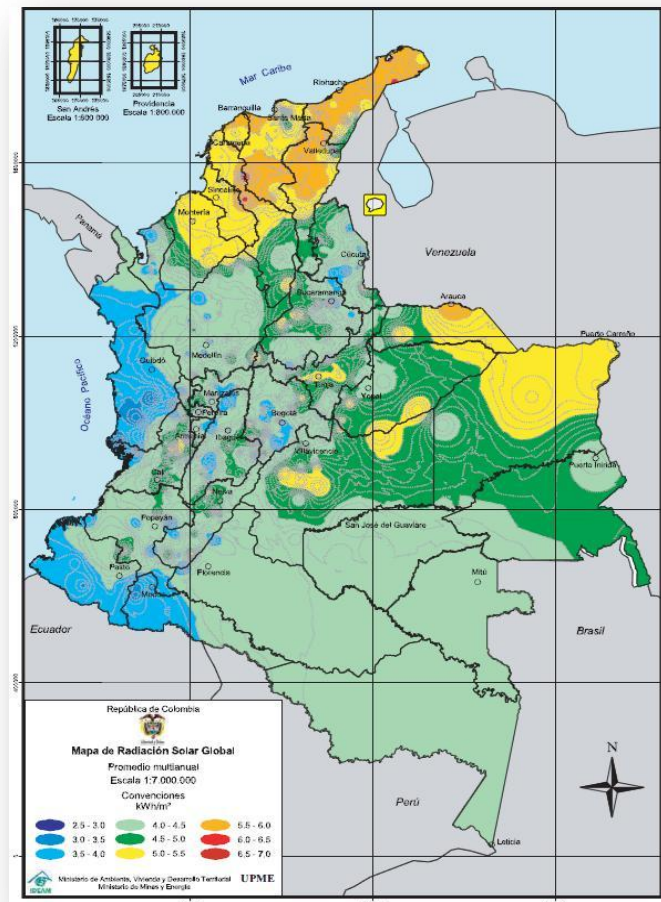
<sup>7</sup> Wikipedia. Radiación solar [Consulta de internet]  
<[http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar)> (consulta: 17 de agosto 2011)



- Mapas de radiación solar:

En estos mapas<sup>8</sup> se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado.

Figura 1. Mapa de radiación anual promedio de Colombia



8 UPME/IDEAM. Atlas de radiación solar de Colombia ,página 40 Modificado (2005) disponible en:  
< [http://www.telloingenieria.com/normas/Atlas\\_Radiacion/2-Mapas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.telloingenieria.com/normas/Atlas_Radiacion/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf)> (consulta:  
11 de septiembre de 2011)

- **Energía solar<sup>9</sup>:** Es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

Entre las múltiples aplicaciones de la energía solar se encuentran su aprovechamiento como luz directa, como fuente de calor y en la generación de electricidad principalmente, a continuación se amplía cada uno de estos usos:

- **Directa:** Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.
- **Térmica:** La energía solar puede utilizarse para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, entre otros, son aplicaciones térmicas.
- **Fotovoltaica:** Es la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas (celda solar, auto solar), capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin necesariamente pasar por un efecto térmico. Para lograr esto la energía solar se recoge de una forma adecuada. El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos.
- **Módulos fotovoltaicos:** (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos)<sup>10</sup>: Son dispositivos que capturan la energía del sol y la transforman en energía eléctrica. Están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "fotos", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente. Las placas fotovoltaicas se dividen en:

---

9 Formaselect España S.L. Energía solar [Consulta de internet] <http://www.formaselect.com/areas-tematicas/energias-renovables/energia-solar.htm> (consulta: 17 de agosto de 2011)

10 Wikipedia. Panel solar [Consulta de internet] <[http://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar)> (consulta: 17 de agosto de 2011)

Cuadro 1. Placas Fotovoltaicas<sup>11</sup>

CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

- Célula fotoeléctrica<sup>12</sup> Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de foto voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil.

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, necesitamos considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los

<sup>11</sup>Electricidad gratuita. Tipos de paneles solares [Consulta de internet] <[http://www.electricidad-gratuita.com/Images/Energia\\_gratuita8.gif](http://www.electricidad-gratuita.com/Images/Energia_gratuita8.gif)> (consulta 17 de agosto de 2011)

<sup>12</sup> Textos científicos. Celdas solares [Consulta de internet] <<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>> (consulta 17 de agosto de 2011)

electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos.

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol

Por ejemplo, las celdas solares de silicio mono cristalino actualmente no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

Las celdas solares<sup>13</sup> de silicio poli cristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio mono cristalino.

Una típica célula fotovoltaica de silicio mono cristalino de 100 cm<sup>2</sup> producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el 1000Wm<sup>-2</sup>). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol. (Por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

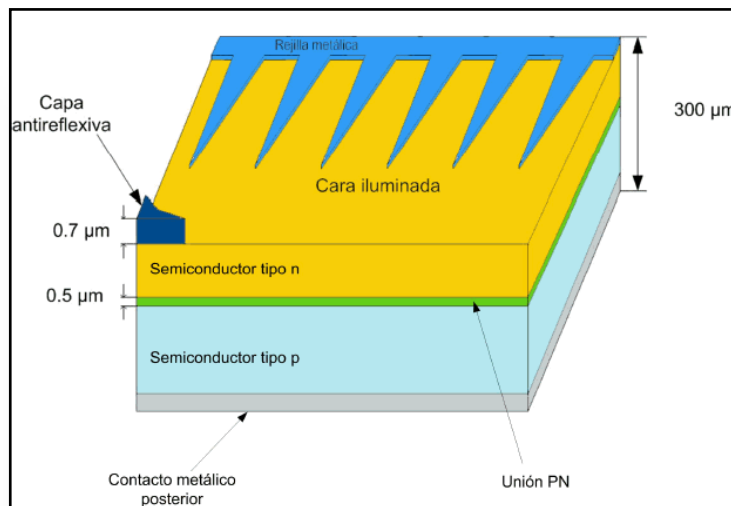
---

13Electricidad gratuita. Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos [Consulta de internet]  
<<http://www.electricidad-gratuita.com/Images/Fundamentos-Fotovoltaicos7.gif>> (consulta 17 de agosto de 2011)

Un semiconductor del tipo n (tipo negativo) es un semiconductor con un exceso de electrones libres. Esto se logra impurificando el cristal de silicio con átomos que tienen electrones libres.

Un semiconductor del tipo p (tipo positivo) está impurificado con átomos que tienen una escasez de átomos libres, que también pueden catalogarse con átomos con huecos. Estos huecos también se mueven libremente a través del cristal a temperatura ambiente. El electrón exterior de un átomo vecino tiene suficiente energía de vibración para saltar dentro del hueco, llenándolo pero dejando un hueco en el átomo original.

Figura 2. Celda Solar

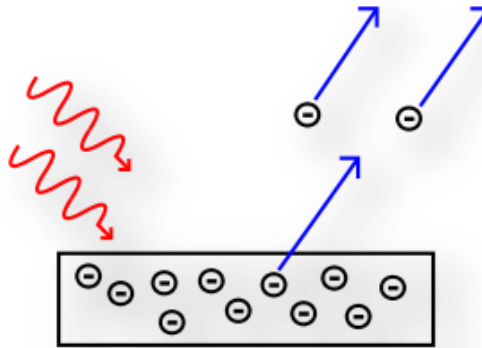


- Efecto fotoeléctrico<sup>14</sup>: Consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general). A veces se incluyen en el término otros tipos de interacción entre la luz y la materia.

---

14 Wikipedia. Efecto foto eléctrico [Consulta de internet]  
<[http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_fotoel%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico)> (consulta: 17 de agosto de 2011)

Figura 3. Efecto fotoeléctrico



- Fotoconductividad: Es el aumento de la conductividad eléctrica de la materia o en diodos provocada por la luz. Descubierta por Willoughby Smith en el selenio hacia la mitad del siglo XIX.
- Efecto fotovoltaico<sup>15</sup>: Transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica. La primera célula solar fue fabricada por Charles Fritts en 1884. Estaba formada por selenio recubierto de una fina capa de oro.
- Generador fotovoltaico

El voltaje de los módulos solares es proporcional al número de celdas en serie que se conecten y del tipo de placa fotovoltaica usada. En general el voltaje nominal de los módulos FV son 12 Vcc y 24 Vcc, con una vida útil de alrededor de 30 años o más. La potencia nominal de los módulos FV viene dada por el fabricante según el diseño al cual este ajusto, teniendo en cuenta la radiación solar, por lo tanto la potencia de los módulos fotovoltaicos es proporcional a la radiación solar que incida sobre ellos, es decir, que si la radiación solar es menor durante días nublados la potencia de los módulos disminuirá, mientras que, si la radiación solar es alta los módulos solo entregaran la potencia nominal para la cual fueron diseñados.

Para obtener el valor de corriente y voltaje necesario se deben conectar los módulos ya sea en paralelo o en serie. Otro aspecto importante para la obtención de la potencia, voltaje y corriente, necesarios para el funcionamiento nominal de los módulos fotovoltaicos es la orientación de los mismos.

---

<sup>15</sup> Wikipedia Efecto foto eléctrico disponible en:  
<[http://www.telloingenieria.com/normas/Atlas\\_Radiacion/2-Mapas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.telloingenieria.com/normas/Atlas_Radiacion/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf)> (consulta: 17 de agosto de 2011)

- Composición

Un generador fotovoltaico<sup>16</sup>, está compuesto principalmente por módulos fotovoltaicos, los cuales a su vez, están constituidos por celdas solares que poseen la capacidad de convertir la irradiancia solar directamente en corriente eléctrica debido al efecto fotovoltaico. Otros componentes de los módulos fotovoltaicos son los siguientes:

Figura 4. Panel Solar Fotovoltaico



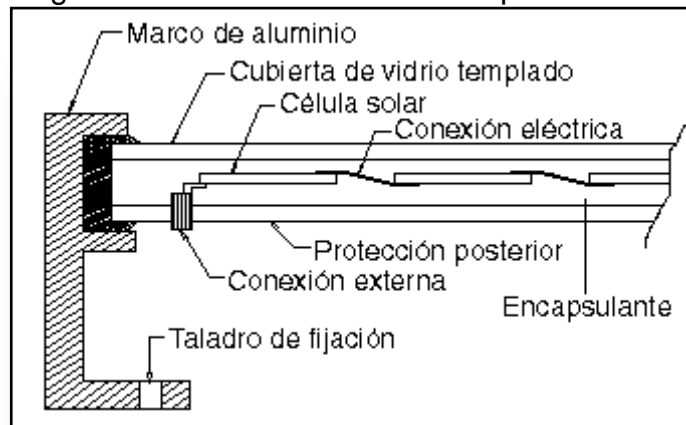
- Encapsulante, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- Cubierta exterior de vidrio templado, que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- Cubierta posterior, constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.

---

<sup>16</sup>Sitio solar. Los paneles solares fotovoltaicos. [Consulta de internet] Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicos/IMAGENES%20PA%20SUBIR/relacion%20celulas%20panelreducido.JPG> (consulta: 10 de Noviembre de 2011)

- Marco de metal, normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto<sup>17</sup>, y que lleva los elementos necesarios (generalmente taladros) para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- Caja de terminales: incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- Diodo de protección: impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

Figura 5. Corte transversal de un panel fotovoltaico



- Batería eléctrica<sup>18</sup>, acumulador eléctrico: Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procesos electroquímicos y permite devolverla luego para ser usada. Se considera un generador eléctrico secundario, pues no puede funcionar si no se le ha dado energía previamente cuando se carga.

<sup>17</sup> Solartronic. Como se fabrica un panel solar. [consulta de internet] disponible en: [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/) (consulta 15 de septiembre 2011)

<sup>18</sup> Mercadolibre. Batería [Consulta de internet] disponible en: [http://img1.mlstatic.com/s\\_MCO\\_v\\_O\\_f\\_16049417\\_6713.jpg](http://img1.mlstatic.com/s_MCO_v_O_f_16049417_6713.jpg) (consulta: 15 de septiembre de 2011)



Figura 6. Batería de alta profundidad



- Controladores de carga solar<sup>19</sup>: Son el componente esencial para cualquier sistema solar independiente con sistema de almacenamiento de energía en la batería.

El objetivo principal de un controlador de carga solar, es proteger al sistema de la batería de una sobrecarga proveniente de los Paneles solares. El controlador de carga solar regula la carga corriente y el voltaje aplicado al sistema de la batería. Los controladores de carga con cuentan la característica LVD (detector de bajo voltaje), así mismo, prevén una descarga excesiva de la batería por las cargas (artículos conectados).

Figura 7.Regulador o Controlador de carga



- Inversor: La función de este dispositivo<sup>20</sup> es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la

---

<sup>19</sup> Cablematsolar. Reguladores de carga [Consulta de internet]  
<<http://www.cablematsolar.com/imagenes/solarix-prs.jpg>> (consulta: 15 de septiembre de 2011)

magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc., en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Figura 8. Inversor de Voltaje



- Generación de corriente en una placa convencional fotovoltaica<sup>21</sup>: Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada N.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, inciden sobre la superficie de la capa P, y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. Si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía que, usualmente y de forma genérica se denomina carga, se iniciará una corriente eléctrica continua.

---

20 Paneles solares y termos solares. Inversos de voltaje [Consulta de internet]  
<<http://2.bp.blogspot.com/-6aKvYmFje74/TbX0jjMTwI/AAAAAAAAAEw/X3i6kU8QXiY/s1600/Inversor.JPG>> (consulta: 15 de septiembre de 2011)  
21 [http://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_fotovoltaico](http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

- Principio teórico de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos<sup>22</sup>: Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio. Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados.

Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar. El flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.

Representación de la diferencia de potencial, o voltaje de corriente con respecto al tiempo en corriente continua. Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua, también denominada DC (acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un sólo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos).

- Sistema de control de lazo abierto: Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

- Sistema de control de lazo cerrado: Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado

---

22 Foro de energía solar "[artículo de internet] disponible en:

<<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2010/06/23/como-funcionan-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>>(consulta: 25 de agosto de 2011)

usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia.

- Características de un Sistema de Control
  - Señal de Corriente de Entrada: Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
  - Señal de Corriente de Salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
  - Variable Manipulada: Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada. Es decir, se manipula la entrada del proceso.
  - Variable Controlada: Es el elemento que se desea controlar. Se puede decir que es la salida del proceso.
  - Conversión: Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
  - Variaciones Externas: Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
  - Fuente de Energía: Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- Tecnología programada para los sistemas de control

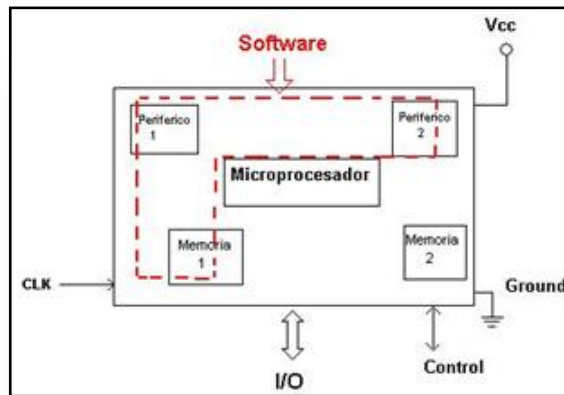
Existen diferentes tipos de tecnologías y equipos utilizados para la programación de un sistema de control, entre los cuales se encuentra los autómatas programables, los microcontroladores y los microordenadores. En este proyecto trataremos los microcontroladores.

- Microcontrolador: Es un dispositivo electrónico<sup>23</sup> capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador. Incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento (microprocesador), memoria y periféricos de entrada y salida.

---

<sup>23</sup>Wikipedia. Microcontrolador. [Consulta de internet] Disponible en:  
<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/Microcontrolador.jpg>> (consulta: 26 de agosto de 2011)

Figura 9. Diseño de un Microcontrolador



- **Microprocesador:** Es el elemento más importante del Microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.
- **Memoria:** En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.
- **Puertas de Entrada y Salida (E/S):** Permiten comunicar al procesador con el mundo exterior, a través de interfaces, o con otros dispositivos. Estas puertas, también llamadas puertos, son la principal utilidad de las patas o pines de un microprocesador. Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de Microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.
- **Reloj principal** Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Esta señal del reloj es el motor del sistema y la que hace que el programa y los contadores avancen. Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el Microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos

componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

- Microcontrolador PIC<sup>24</sup> Los PIC son los circuitos integrados de Microchip Technology Inc., que pertenece a la categoría de los microcontroladores es decir, aquellos componentes que integran en un único dispositivo todos los circuitos necesarios para realizar un completo sistema digital programable.

Los PIC son disponibles en una amplia gama de modelos para adaptarse mejor a las exigencias de los proyectos, diferenciándose por el número de líneas I/O y por la dotación de dispositivos. Se parte de los modelos más pequeños identificados con la sigla PIC12Cxx dotados de solo 8 pines, hasta llegar a modelos más grandes con una sigla PIC17Cxx dotados de 40 pines de los cuales 13 disponibles por I/O.

- Programación del PIC

Para transferir el código de un ordenador<sup>25</sup> al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (In Circuit Serial Programming, programación serie incorporada) o LVP (Low Voltage Programming, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 (En algunos modelos pueden usarse otros pines como el GP0 y GP1 o el RA0 y RA1) como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de 12 voltios. Existen muchos programadores de PICs, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades. Muchos de estos programadores complejos incluyen ellos mismos PICs pre programados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar.

- Microcódigo Studio<sup>26</sup>: Es una representación visual integrado de desarrollo medio que tiene un circuito de depuración de la capacidad utilizada para

---

<sup>24</sup> Luis Frino Electronica. Estudio [Consulta de internet] disponible en:  
<http://www.frino.com.ar/leccion1.htm> (consulta: 10 de agosto de 2011)

<sup>25</sup> Microcontrolador PIC. Estudio [Consulta de internet] disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC) (consulta: 26 de agosto de 2011)

<sup>26</sup> Softeare.informer. Microcodigo. Estudio [Consulta de internet] disponible en:  
<<http://translate.google.com.co/translate?hl=es&sl=en&u=http://microcode-studio.software.informer.com/3.0/&ei=5aoXT->

MicroEngineering Labs y PICBASIC PRO PICBASIC compilador. La aplicación cuenta con un editor que soporta resaltado de sintaxis completa del código. También es compatible con la ayuda de contexto sensible y sugerencias de palabras clave de sintaxis.

Microcódigo Studio viene con un explorador de código que ayuda en el salto automático para incluir los archivos, define, constantes, variables, alias y modificadores, los símbolos y las etiquetas que consistió en el código fuente respetada. Hay otras características tales como corte completo, copiar, pegar y deshacer con las opciones de búsqueda y reemplazo. Tiene una capacidad para identificar y corregir los errores de compilación y ensamblador. Cuenta con un punto de vista de la producción en serie del microcontrolador externo. También cuenta con un apoyo adicional para MPASM.

El programa ayuda al usuario configurar las opciones de compilador, ensamblador y programador. También cuenta con función de búsqueda automática que puede hacer todo el trabajo que implica. La ventana de error los resultados ayuda al usuario a identificar fácilmente los errores y corregirlos. Si el usuario hace clic en el error de compilación, estudio microcódigo que saltar a la ubicación de la línea del error. Ayuda a los usuarios ver y depurar la salida de serie de sus microcontroladores.

- Bomba sumergible<sup>27</sup> Es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.
- Tipos de riego

Existen diversos tipos de riego para jardines a continuación se definirán los mas usados.

---

b5LpD1ggf\_vZihAw&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=9&ved=0CG4Q7gEwCA&prev=/search%3Fq%3Dmicrocode%2Bstudio%2Bwikipedia%2Bes%26hl%3Des%26biw%3D1247%26bih%3D575%26prmd%3Dimvns> (consulta: 26 de agosto de 2011)

<sup>27</sup> Wikipedia. Bomba sumergible. [Consulta de internet] disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_sumergible](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sumergible)>. (consulta: 19 de octubre 2011)

- Riego por inundación<sup>28</sup>: Es el más tradicional y fue el usual hasta finales del Siglo XIX en que se inventó el riego localizado. Su tendencia actual es a ser sustituido por otras técnicas ya que su mayor inconveniente es el despilfarro de agua que lleva consigo. Es muy significativo el dato de que las pérdidas de agua originadas sólo por evaporación, en largos recorridos y a cielo abierto, se estiman en aproximadamente un 25%, sin contar las filtraciones incontroladas, roturas de conductos entre otras.

Figura 10. Riego por inundación



---

<sup>28</sup>Euroresidentes. Riego por inundación [Consulta de internet] disponible en:  
<[http://www.euroresidentes.com/jardineria/sistemas\\_de\\_riego/riego/riego\\_por\\_inundacion.htm](http://www.euroresidentes.com/jardineria/sistemas_de_riego/riego/riego_por_inundacion.htm)>  
(consulta: 19 de octubre 2011)



- **Riego por surcos**<sup>29</sup>

Por surco entendemos las hendiduras que se realizan en la tierra para dar paso al agua por debajo de la superficie de cultivo y a través del surco. Al taponar temporalmente el extremo del surco conseguiremos retener el agua el tiempo necesario hasta conseguir el riego deseado.

Figura 11 Riego por surcos



Al final se trata de un forma de riego por inundación (limitada a la cabida del surco y sin cubrir nunca el caballón) desde la parte de las raíces y hacia arriba para evitar los daños que el agua puede producir en su contacto directo sobre los tallos o los frutos de las plantas que queremos cultivar y a los que, por sus especiales características, no les conviene ese contacto.

---

<sup>29</sup> l jardineros. Riego por inundación [Consulta de internet] disponible en: <  
[http://www.euroresidentes.com/jardinaria/sistemas\\_de\\_riego/riego/riego\\_por\\_surcos.htm](http://www.euroresidentes.com/jardinaria/sistemas_de_riego/riego/riego_por_surcos.htm)>  
(consulta: 19 de octubre 2011)

- **Riego por aspersión**

Es aquel sistema de riego que trata de imitar a la lluvia<sup>30</sup>. Es decir, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante unos pulverizadores, llamados aspersores y, gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar.

Para conseguir un buen riego por aspersión son necesarios:

- **Presión en el agua:**

Es necesaria por dos motivos; la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debemos regar y teniendo en cuenta que el agua debe llegar al mismo tiempo y a la misma presión a las bocas donde se encuentran instalados los mecanismos de difusión (aspersores) con el fin de conseguir un riego uniforme. La segunda razón es que la presión del agua debe ser capaz de poner en marcha todos los aspersores al mismo tiempo bien sean fijos o móviles, de riego más pulverizado o menos.

En el caso de que la presión de la red no sea suficiente se deberá instalar un motor que dé la presión suficiente desde el depósito hasta los aspersores.

- **Red de tuberías:** En general la red de tuberías que conducen el agua por la superficie a regar se compone de ramales de alimentación que conducen el agua principal para suministrar a los ramales secundarios que conectan directamente con los aspersores.

Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación.

---

30 Euroresidentes. Riego por aspersión [Consulta de internet] disponible en:  
<[http://www.euroresidentes.com/jardineria/sistemas\\_de\\_riego/riego/riego\\_por\\_aspersion.htm](http://www.euroresidentes.com/jardineria/sistemas_de_riego/riego/riego_por_aspersion.htm)>  
(consulta: 19 de octubre 2011)

- **Aspersores:** Los más utilizados en la agricultura son los giratorios porque giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua, aunque en el mercado los hay de variadas funciones y distinto alcance. Son parte muy importante del equipo del riego por aspersión y por tanto el modelo, tipo de lluvia (más o menos pulverizada) que producen, alcance etc. deben formar parte del estudio técnico antes mencionado.
- **Depósito del agua:** Desempeña dos funciones: la de almacenamiento del agua suficiente para uno o varios riegos y la de ser punto de enlace entre el agua sin presión y el motor de impulsión de esa agua a la presión necesaria para el riego calculado

Figura 12 Riego por aspersión



- **Presión<sup>31</sup>:** Se entiende que es la cantidad de fuerza aplicada en un área determinada, así una misma fuerza puede ejercer menos o más presión si la superficie donde se aplica es menor o mayor.

---

31Chile. Ministerio de agricultura. Medición de presión y caudal. Edición No 28. Punta Arenas. 2000 [Consulta de internet] disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf> (consulta: 19 de octubre 2011). [información recopilada en esta sección fue obtenida de este documento]

Cuadro 2. Unidades de presión más frecuentemente usadas

Unidad de presión	Equivalencia en (m.c.a.) <sup>32</sup>
1 Atmosfera	10
1 BAR	9.88
1 PSI o Lb/pul <sup>2</sup>	0.7
1 Kg/cm <sup>2</sup>	10

- **Medición de la presión**

Usualmente la presión puede ser mediada en metros de columna de agua en un centímetro cuadrado (m.c.a.) lo que está dado por la perdidas de carga obtenidas, sin embargo una vez que la instalación ya está diseñada se utilizan instrumentos de medición directos dicho instrumento se conoce como **nanómetro** los cuales pueden ser instalados en diferentes puntos de la red bien atreves de la inserción de tomas manométricas de polietileno insertas en la red.

- **Pérdidas de carga**

Cuando el agua circula dentro de las tuberías, debido al rozamiento de las paredes se produce una pérdida de energía o presión, conocida con el nombre de “**perdida de carga**” igual efecto es producido por los fitting y piezas singulares (codos, válvulas etc.) y por las diferencias de nivel del terreno recorrido por la red de tubería [al presentarse una pendiente positiva el agua pierde presión (subida) y al presentarse una pendiente negativa (bajada) el agua aumenta su presión].

- **Caudal**

El caudal corresponde a la cantidad de agua que pasa por un lugar (canal, tubería, etc.) en una cierta cantidad de tiempo es decir que corresponde al volumen de agua (litros, metros cúbicos, etc.) por unidad de tiempo (segundos, minutos etc.)

---

<sup>32</sup> Metros columna de agua (m.c.a.)

## **7. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO**

### **7.1 DISEÑO FOTOVOLTAICO**

El diseño de un sistema fotovoltaico comprende el uso de módulos FV, así como baterías, regulador de carga, inversor y demás componentes del sistema. A continuación se detallará el funcionamiento de cada uno de estos componentes para conocer su correcta labor, aspectos fundamentales y la forma definitiva de cómo van a ser instalados:

#### **7.1.1 Orientación de los Módulos FV**

Como los módulos solares deben mirar al sol sin interferencia de obstáculos en los alrededores, los paneles generalmente están colocados en una posición alta, sobre un techo o un poste.

La máxima captación en los módulos fotovoltaicos con estructura y orientación fija, se logra colocando los módulos dirigidos hacia el Sur en el caso de una región en el hemisferio Norte, y hacia el Norte en el caso de ubicaciones en el hemisferio Sur. Esta configuración permite balancear las posibilidades de captación entre la mañana y la tarde si se suponen características similares de irradiación.

En cualquier caso es recomendable una inclinación mayor de  $10^\circ$ , respecto a la orientación de la región donde se ubicaran los módulos, para que el agua de lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel. Si se asumen algunas pérdidas, en muchos casos pequeñas, se tiene un abanico más amplio de posibilidades de orientación, lo que puede facilitar la instalación y mantenimiento de los módulos. Pero siempre debe buscarse que la orientación sea lo más cercana a la orientación que maximiza la captación anual,

#### **7.1.2 Estructura de soporte**

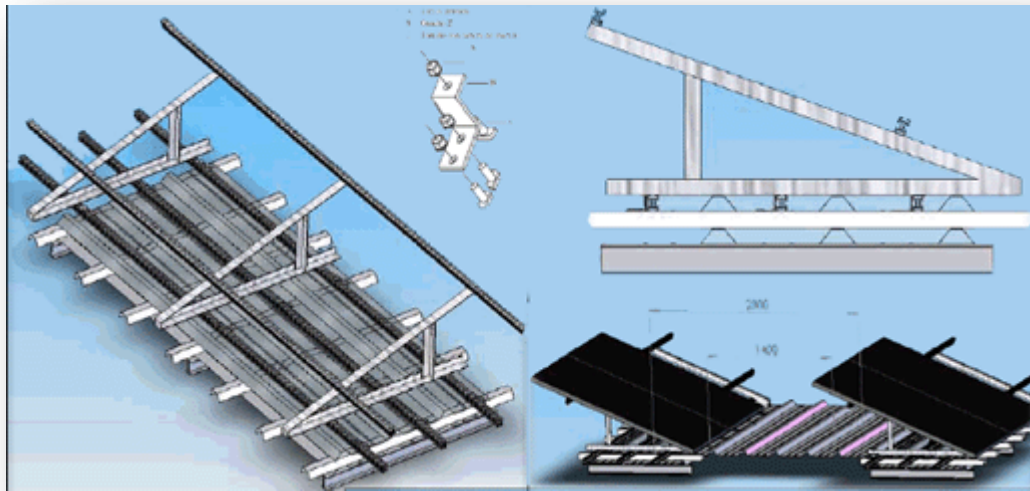
Para la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos, es posible utilizar diversos materiales, entre los cuales se encuentran: aluminio, acero inoxidable, hierro galvanizado, madera tratada, entre otros. Para este proyecto se trabajará

una estructura en acero inoxidable, la cual dará la posibilidad de ubicar los módulos en la orientación requerida.

Algunos aspectos a tener en cuenta para la estructura de soporte son:

- La estructura debe resistir mínimo 10 años a la intemperie.
- La estructura deberá ser fija preferiblemente.
- El diseño de la estructura deberá permitir fácil acceso a los módulos.
- El montaje de la estructura debe preservar la resistencia a la fatiga, corrosión y el ambiente.

Figura 13. Estructura de soporte<sup>33</sup>



### 7.1.3 Dimensionamiento de los módulos

El tamaño de los módulos FV debe asegurar que la energía producida durante el peor mes, pueda como mínimo, igualar la demanda de la carga. Por lo tanto para dimensionar tanto los módulos como las baterías es necesario conocer la carga a

---

<sup>33</sup> Electricidad gratuita. Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos: estructura de soporte. [Consulta de internet] <<http://www.electricidad-gratuita.com/Images/estructura-soporte.gif>> (consulta 17 de agosto de 2011)

conectar. A partir del valor real de consumo de la carga y teniendo en cuenta el tiempo (t) de funcionamiento es posible calcular el número de paneles necesarios para abastecer la carga en el mes irradiación solar promedio más bajo. El consumo diario (Cd) de la carga medida en Wh/día se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 1. 
$$Cd = P * n * t$$

Donde:

Cd= Consumo diario

n = número de equipos

Según los datos de placa del fabricante de la bomba sumergible (sección 8.1.6), la potencia consumida por esta es 400 W, pero es necesario conocer la potencia real de consumo de la carga la cual se calcula con la corriente real de operación según la siguiente ecuación:

Ecuación 2. 
$$P = Vn * Ic^{34}$$
  

$$P = 110 V * 2.4 A$$
  

$$P = 264 W$$

Donde,

P = Potencia

Vn = Voltaje nominal

Ic = Corriente de prueba

Conociendo la potencia real consumida por la bomba sumergible se tiene entonces:

$$Cd = 264 W * 1 * 0.5 hora$$

$$Cd = 132 Wh/dia$$

El consumo diario de la carga (Cd) constituye el consumo energético teórico de la bomba sumergible, es decir,  $E_t = 132 Wh$

Para las pérdidas debidas al rendimiento del acumulador, pérdidas en el inversor, pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.), autodescarga diaria de las baterías, días de autonomía de la instalación, profundidad de descarga diaria de la

---

<sup>34</sup> El valor tomado para esta corriente corresponde al medido en la prueba realizada a la bomba sumergible con carga y alimentación directa de la batería es estado estable.

batería (Pd), pueden cuantiarze por medio de la siguiente ecuación y los siguientes parámetros:

Ecuación 3. 
$$R = (1 - kb - kc - kv) * \left(1 - \frac{ka * N^{35}}{Pd}\right)$$

Parámetros para instalación:

$Kb = 0.1$  para sistemas con descargas profundas

$Kc = 0,1$  para condiciones de trabajo lejos de las óptimas debido a trabajos en intemperie.

$Kv$  = El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es  $0,05 < kv < 0,15$

$Ka = 0,005$  para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)

$N = 6$

$Pd = 104$ , 80% de la capacidad nominal del acumulador

De acuerdo a la siguiente ecuación se calcula el consumo energético real de la instalación:

Ecuación 4. 
$$E = \frac{Et}{R}$$

$Et = 132 \text{ wh}$

$R = 0.89982857$

$$E = 146.7085834 \text{ Wh}$$

Otro factor a tener en cuenta para el dimensionamiento de los módulos FV son las horas picos solares, HPS, que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante  $I=1\text{kWh/m}^2$ , a la cual se mide siempre la potencia de los módulos. Como la irradiación en cada área específica (H) es igual al producto de la irradiancia de referencia (I) por las horas pico solar (HPS), se sabe que la irradiación específica es igual a las HPS. En el área que se desarrollara el proyecto como Barranquilla las HPS (horas pico solares) son (según el Mapa de radiación anual promedio de Colombia de la UPME) 5.5 – 6 horas.

Ecuación 5. 
$$H \left[ \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} \right] = \left[ I \frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right] * [HPS (h)]$$

---

35 Días continuos en que la instalación deberá operar bajo una irradiación mínima (días nublados). Se consume una cantidad de energía mayor que la generada por el sistema FV.



Debido a parámetros del fabricante el modulo solar provee una máxima potencia o potencia nominal ( $w_p$ ), en las horas pico de 135 watts, es decir en condiciones estándar.

El número de módulos FV necesario ( $N_p$ ) se calcula empleando el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido según la siguiente ecuación:

Ecuación 6. 
$$N_p = \frac{E}{0.9 * w_p * HPS}$$

$HPS = 4$ , para el mes con menor intensidad de radiación en el sector donde se va a emplear la instalación.

$$N_p = \frac{146.7085834 \text{ Wh}}{0.9 * 135 \text{ Wh} * 4}$$
$$N_p = 0.301869510 = 30,18\%$$

Para la realización de este proyecto será necesario utilizar un (1) modulo solar de 135 Watts.

#### 7.1.4 Almacenamiento de la energía eléctrica

Un sistema solar fotovoltaico comprende un arreglo de baterías, las cuales proporcionan la energía eléctrica necesaria a la carga cuando las condiciones de radiación no permiten que los módulos solares produzcan la energía suficiente para abastecer la carga. Generalmente las baterías se cargan de día mediante los módulos FV y se descargan de noche. A esto se le conoce como *ciclado diario*, adicionalmente existe el *ciclado estacional* el cual se refiere a periodos de poca incidencia de radiación. Conjuntamente con estos ciclos la corriente, la temperatura ambiente, y otros parámetros inciden sobre la vida útil de las baterías y sus requisitos de mantenimiento. Para evadir el deterioro de las baterías se deben evitar las siguientes situaciones:

- Elevados voltajes de carga, que elevan la corrosión y pérdida de agua.
- Bajos voltajes en descarga.
- Descargas profundas
- Largos periodos sin recarga total.
- Elevadas temperaturas, que aceleran los procesos de envejecimiento.

- Estratificación del electrolito.
- Bajas corrientes de carga.

Las anteriores recomendaciones son de gran importancia para calcular el dimensionamiento de las baterías, módulos FV y reguladores. Adicionalmente debe conocerse las condiciones locales, como el nivel de radiación y carga a alimentar. Las disposiciones que definen el funcionamiento en un arreglo FV son los siguientes:

- El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un número específico de horas de descarga.
- Capacidad de almacenamiento de energía.
- Profundidad de descarga máxima.
- La vida útil.

Teniendo en cuenta estos aspectos es posible calcular el número de baterías a utilizar para abastecer la demanda de la carga en los días de mayor nubosidad y de menor radiación, es decir, que la capacidad útil de la batería debe permitir el funcionamiento del sistema en ausencia de radiación solar, brindando entre 3 y 5 días de autonomía. La capacidad útil ( $C_u$ ) de la batería es el resultado de la multiplicación de la máxima profundidad de descarga ( $Pd_{max}$ ) por la capacidad nominal ( $C_b$ ), teniendo en cuenta que la  $Pd_{max}$  (referida a la capacidad nominal de la batería en 20-horas) debe limitarse a un valor específico que generalmente está entre 0.3 % y 0.6 % de la capacidad nominal, para prolongar la vida útil de la batería y evitar descargas excesivas.

Ecuación 7.  $C_u = C_b * Pd_{max}$

La batería marca Trojan escogida para este proyecto tiene una capacidad útil de 78 Ah.

Para calcular la capacidad del banco de baterías ( $C$ ) expresada en kAh, se utiliza el consumo energético real ( $E$ ), los días de autonomía ( $N$ ) la tensión nominal del acumulador  $V$ , es decir, 12 V y la profundidad de descarga  $Pd$  permitida, en la siguiente ecuación:

Ecuación 8  $C = \frac{E * N}{V * Pd}$

La capacidad del banco de baterías según la ecuación anterior será de 470.02 kWh, con este dato se puede calcular el número de baterías ( $N_p$ ) que se requieren en base a la capacidad de la batería ( $C_b$ ) en kWh, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 9} \quad N_p = \frac{c}{c_b}$$

Considerando la ecuación anterior se tiene que el número total de baterías a utilizar será de 1.26005, es decir, 2.

La producción de energía por parte de los módulos FV excederá la demanda durante el peor mes del año y el banco de baterías dispuesto brindará la energía necesaria durante los días nublados, dándole autonomía al sistema.

#### **7.1.5 Regulador de carga**

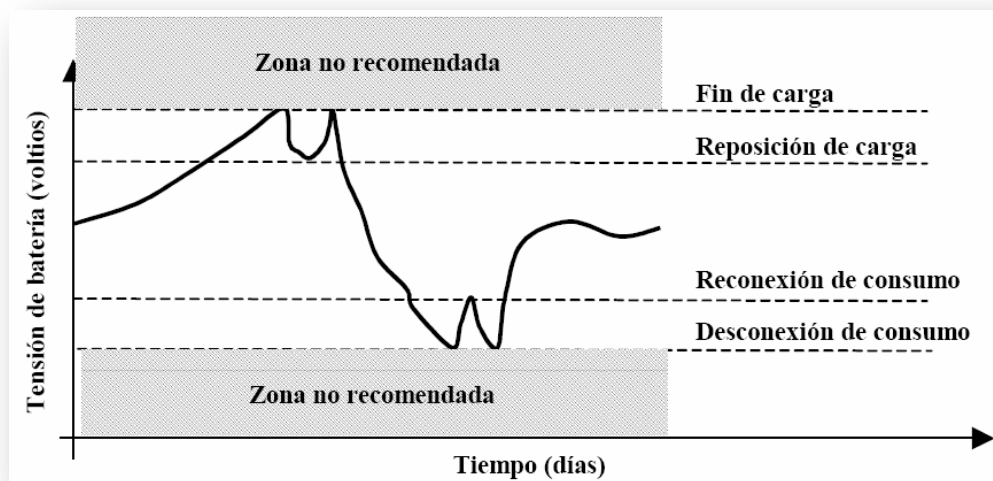
La función general de este dispositivo es vigilar el estado de la carga de la batería, controla el proceso de carga y la desconexión y reconexión de los consumos para optimizar el uso de la batería y así alargar su vida útil.

Las descargas profundas en las baterías reducen la vida útil de las mismas, para evitar esto el abastecimiento de energía que va hacia las cargas se interrumpe cuando el voltaje de la batería se reduce a un valor límite, llamado "voltaje de desconexión de carga". El suministro se restaura solo hasta que el voltaje de la batería se reanude a un valor mínimo aceptable, llamado "voltaje de reconexión de carga". Los valores recomendables de dichos voltajes de umbral dependen del comportamiento eléctrico de la batería, diseño particular, proceso de fabricación y además de la edad de la misma. Teniendo en cuenta estos aspectos y que no se tiene una relación universal de los valores de voltaje y estado de carga en las baterías, se tienen algunas especificaciones las cuales permiten establecer los valores requeridos. La tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando el acumulador haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida que generalmente está entre 0.3 y 0.6 de la capacidad nominal, el "voltaje de reconexión de carga" debe ser 0,5 V para 12V superior al voltaje de "desconexión de carga".

Para proteger las baterías contra sobrecargas debe limitarse la corriente de la carga cuando el voltaje de la batería está por encima del valor límite, llamado “voltaje de fin de carga” el cual interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería “on off”, o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador fotovoltaico “modulación del ancho de pulso” (o PWM). Dicha corriente no debe restablecerse hasta que el voltaje caiga por debajo de otro límite, denominado “voltaje de reposición”.

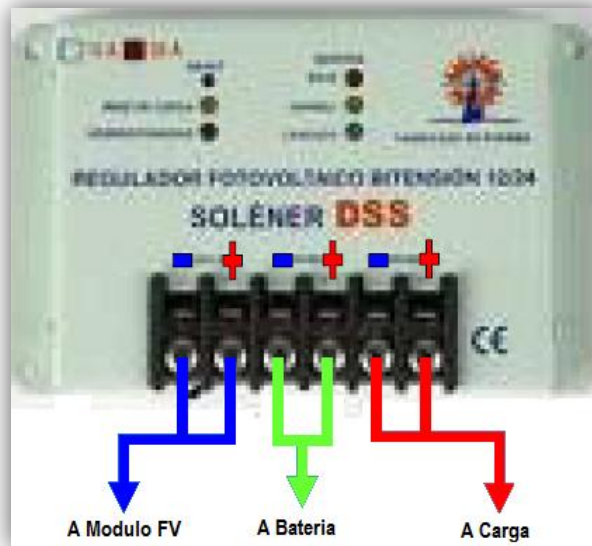
Los valores de estos voltajes son más generales por lo tanto la el “voltaje de fin de carga” se considera un rango de 2,3 a 2,4 V/vaso, a 25°C. En el caso del regulador que se utilizara tipo PWM, el voltaje de “fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,35V/vaso, a 25°. A continuación se muestra la variación del voltaje con un regulador de carga asociado a las baterías

Figura 14. Variación del voltaje en una batería con regulador de carga



- Conexión de un regulador de carga

Figura 15. Conexión de regulador de carga



- El proceso de conexión es:
  - Siempre primero el polo negativo
  - Se conecta primero la batería
  - Seguidamente, el módulo FV
  - Por último, la carga
  - El proceso de desconexión es el inverso

#### 7.1.6 Sistema de adaptación de corriente (inversor)

Su función es adecuar las características de la energía generada a las demandadas por las aplicaciones de la instalación. Un sistema de conmutación electrónico, llamado inversor, transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna.

Las principales características que deben considerarse para el dimensionamiento del inversor son:

- La tensión de entrada.
- Máxima potencia que puede manejar.
- Margen de sobrecarga permisible.
- Potencia, tensión y forma de la onda de la salida
- Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia.
- Eficiencia de transformación (generalmente cercana al 85%)

## **7.2 DISEÑO SISTEMA DE CONTROL**

El diseño del sistema de control está basado en el uso de un Microcontrolador PIC 16F628, cuya función principal es la regular funcionamiento de la bomba sumergible mediante el lenguaje de programación BASIC, este lenguaje permite establecer la lógica de comandos necesaria para ejecutar la operación start/off de la bomba. Por otro lado para el correcto funcionamiento del Microcontrolador se precisa la interconexión de distintos componentes físicos, con cuales es posible la interfaz entre la bomba sumergible y el PIC. En esta sección se contemplara el lenguaje y la lógica utilizada para la programación del PIC, los componentes que hacen parte del circuito eléctrico y el montaje de la tarjeta controladora.

### **7.2.1 Programación del PIC 16F628**

La programación del PIC está sujeta a la secuencia de accionamiento de la bomba sumergible dada por las horas y duración del riego. Una vez definida estas variables se procede a convertir la lógica de programación al lenguaje BASIC el cual es compilado con el sistema.

- Lógica a programar

Antes de la realizar la programación del PIC es necesario establecer la lógica o secuencia start/off de la bomba sumergible, la cual se muestra a continuación:

1. Al realizar un pulso en start la bomba sumergible se energizara a las 5:30 am y por lo tanto iniciara el riego del jardín por espacio de 15 minutos.
2. Luego de la culminación de los 15 min, la bomba será desenergizada.
3. Pasadas 16.5 horas la bomba sumergible volverá a encenderse a las 10:00 pm, realizando un segundo riego de 15 minutos.
4. Luego de la culminación de los 15 min, la bomba será desenergizada.
5. Cumplido un ciclo de riego la bomba será nuevamente energizada pasadas 7 horas y se dará inicio a un nuevo ciclo.
6. La bomba sumergible podrá ser detenida en cualquier momento accionando el pulsador de stop.

- Programación en MICROCODE STUDIO PIC-BASIC PRO  
El programa fue realizado de la siguiente manera:

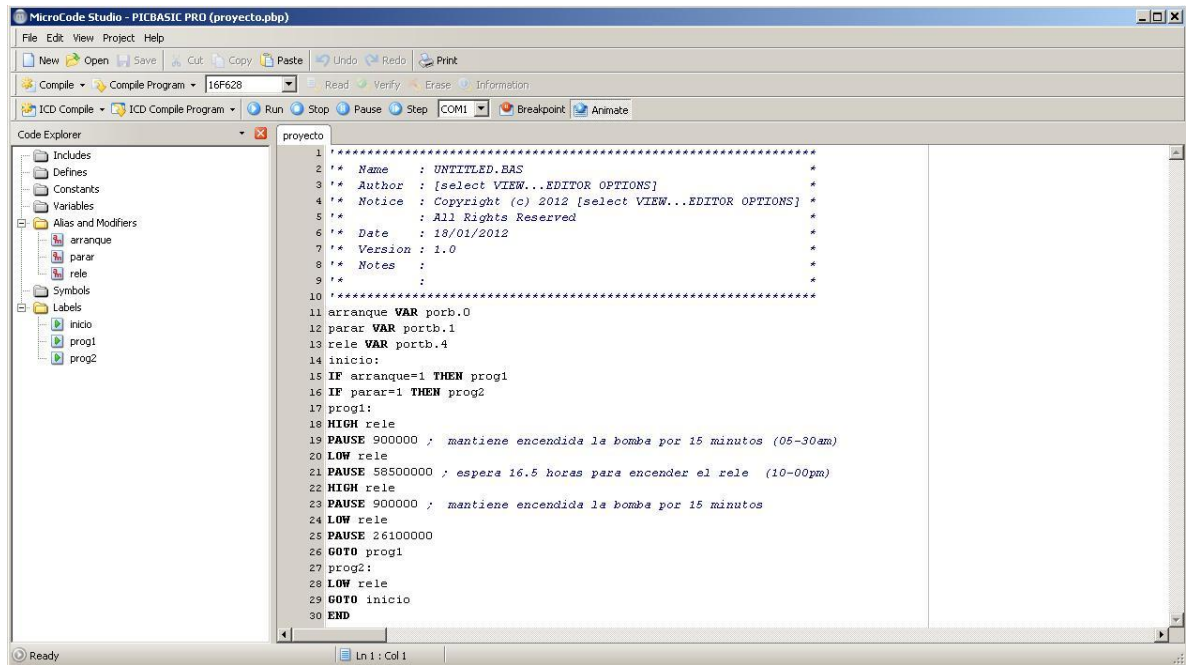
```

*****
!* Name : UNTITLED.BAS *
!* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
!* Notice : Copyright (c) 2012 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
!* : All Rights Reserved *
!* Date : 18/01/2012 *
!* Version : 1.0 *
!* Notes : *
!* : *
*****

arranque var porb.0
parar var portb.1
rele var portb.4
inicio:
if arranque=1 then prog1
if parar=1 then prog2
prog1:
high rele
pause 900000 ; mantiene encendida la bomba por 15 minutos (05-30am)
low rele
pause 58500000 ; espera 16.5 horas para encender el rele (10-00pm)
high rele
pause 900000 ; mantiene encendida la bomba por 15 minutos
low rele
pause 26100000
goto prog1
prog2:
low rele
goto inicio
end

```

Figura 16. Programa en microcode

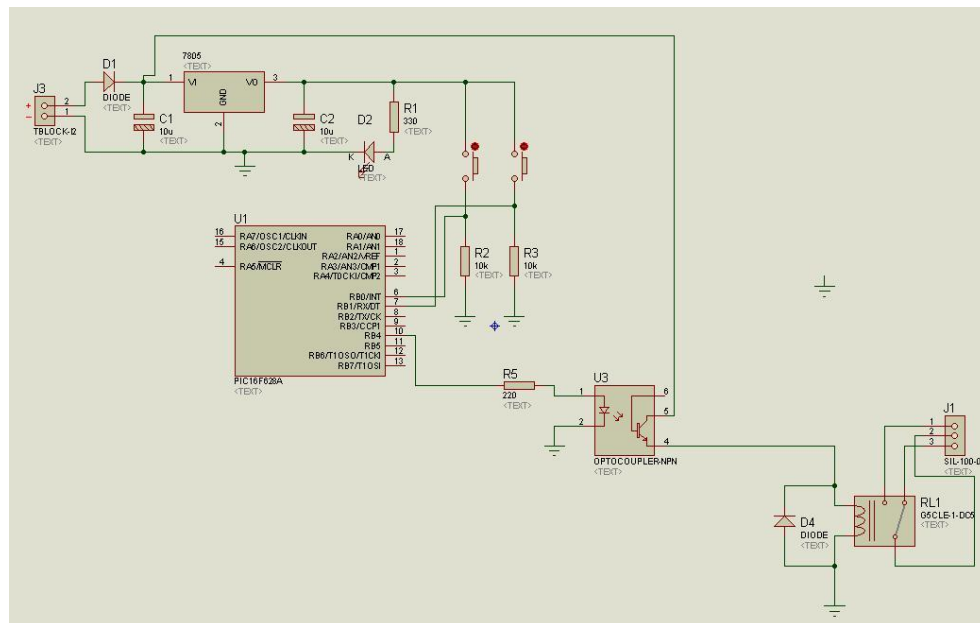


- Circuito Eléctrico

El circuito eléctrico está compuesto por la interconexión de tres (3) resistencias, dos (2) condensadores, un (1) auto-transistor, dos (2) pulsadores, un (1) leed, un (1) diodo, un (1) relé o relevador y por el Microcontrolador los cuales contienen una trayectoria cerrada predefinida para su funcionamiento adecuado, el cual es el mostrado a continuación:

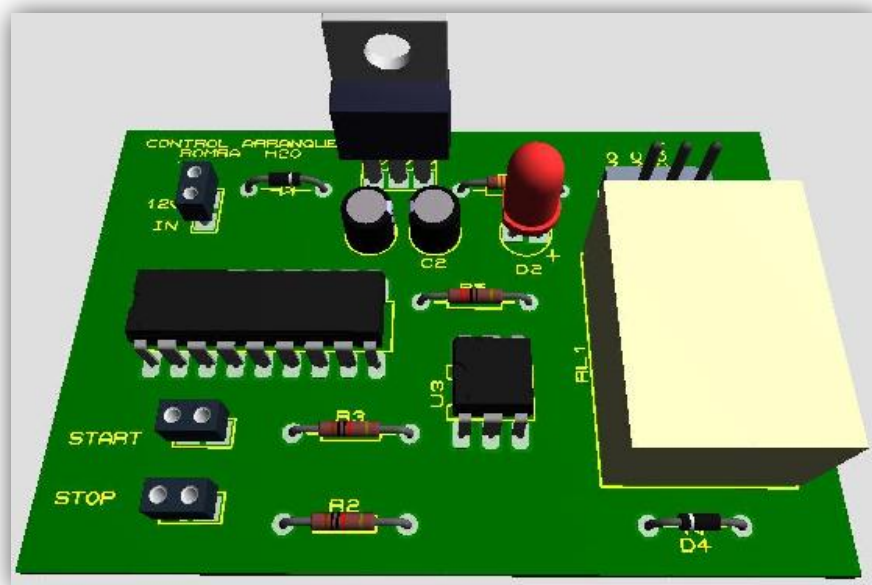


Figura 17. Circuito eléctrico



- Montaje de la tarjeta controladora

Figura 18. Tarjeta controladora



### **7.3 DISEÑO SISTEMA DE RIEGO**

El sistema de riego consta de diferentes componentes como son, una bomba sumergible, un contenedor de agua, una red de tuberías y finalmente un juego de aspersores mecánicos los cuales permiten el riego por aspersión, también se debe tener en cuenta los diferentes factores que intervienen en la escogencia del mejor tipo de riego, entre estos factores se resaltan, el ambiente que rodea el área de trabajo.

Si el sistema de riego se encuentra en un ambiente a nivel del mar y costero este será más salino y seco, por lo tanto, los tiempos de riego y cantidad de los mismos serán mayores que si el sistema se encontrara a mayor altura del nivel del mar.

Este proyecto para una ciudad como Barranquilla que su ambiente es salino y cálido, se debe escoger el riego por aspersión el cual brinda la capacidad de realizar un trabajo uniforme y de acuerdo a las necesidades del área de riego, a continuación se describirán sus benéficos.

#### **7.3.1 Riego por aspersión<sup>36</sup>**

Este sistema es el que se va a utilizar en el proyecto de riego que se implementara en la Corporación Universitaria De La Costa puesto que es la mejor elección en una ciudad como Barranquilla donde el medio ambiente es muy salino y contaminado, también tener en cuenta que esta ciudad está a nivel del mar, aparte de esto debemos recordar que los aspersores a utilizar son localizados es decir no son a largas distancias de chorro y para los jardines de la universidad esta opción es la más recomendada ya que no es necesario utilizar grandes cantidades de agua para el riego de la institución; ya que estos tipos de jardines no necesitan una gran cantidad en de agua en tiempos cortos (como es la funcionalidad de el riego por inundación y por surcos) de lo contrario es necesario un riego de media duración sin utilizar un exceso de agua.

---

36[ Definición establecida previamente en la sección 6, tipos de riego]

Para determinar qué tiempo y cuantas veces al día se debe regar el jardín, se basan los resultados de acuerdo a ecuaciones<sup>37</sup> diseñadas las cuales se utilizan para este fin:

- Cálculos del riego

Para el sistema de riego debemos tener en cuenta las diferentes variables que afectan o intervienen en el proceso tales como:

- Tipo de aspersor
- Ambiente que rodea el jardín (temperatura, salinidad, humedad, seco, etc.)
- Tipo de suelo
- Época del año

Para el proyecto se usaran 2 aspersores de 360° x1400 L/h de consumo. La cantidad de agua aportado al suelo por un aspersor de 90° es la misma que aporta un aspersor de 180°, y la misma que arroja uno de 360° (1.400 l/h), ya que el consumo es proporcional al ángulo que abarca . Mientras un aspersor de 360° pasa su chorro una sola vez por la zona de riego arrojando 1.400 l/h, un aspersor de 90° pasa 4 veces, arrojando también 1400 l/h (350 l/h X4). Por lo tanto es aconsejable calcular el "*volumen máximo transformado*", que es el consumo que tendría un aspersor de 360°. En resumen, cualquier cálculo se referirá a aspersores de 360°.

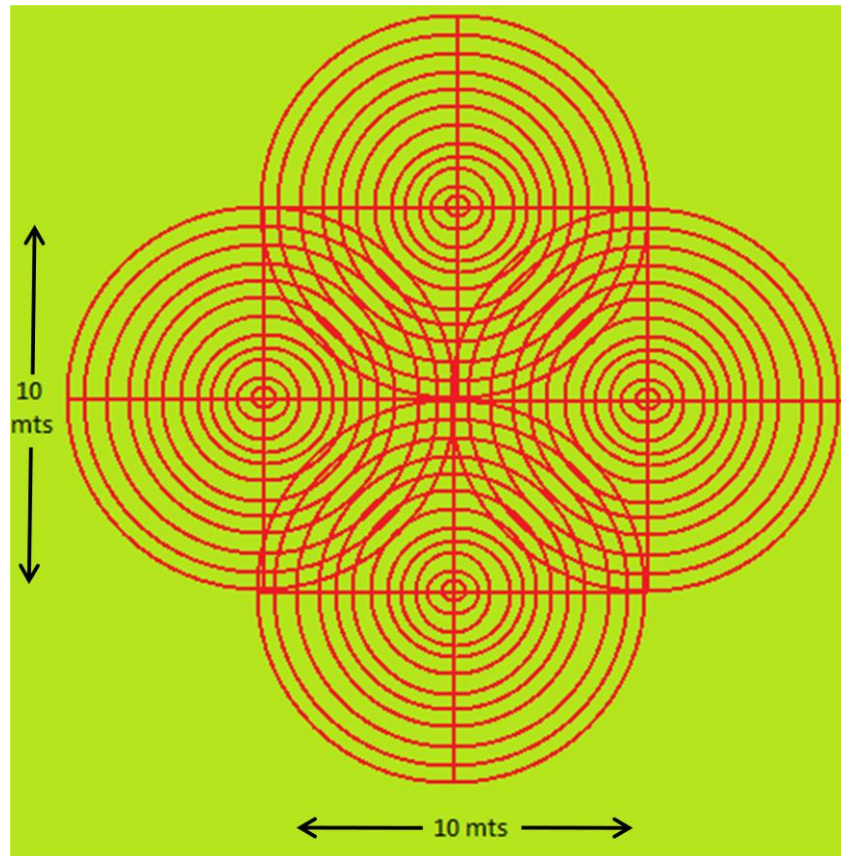
- Calculo de la superficie regada por aspersor.

Para calcular el área a regar o dimensiones del jardín se realizaron las mediciones necesarias del espacio a intervenir esto con el fin de saber donde se ubicaran los aspersores para que su radio de alcance abarque la mayor parte de área. Las mediciones tomadas en el área que se intervino fueron de 10mts de ancho por 10mts de largo es decir que es un área aproximada de unos 100m<sup>2</sup> de riego.

---

37 El Riego. Cálculos y diseños de riego. (la información [gran cantidad de información establecida en esta sección fue tomada de este portal de internet] disponible en;  
<[http://www.elriego.com/informa\\_te/Calculos/calc\\_tiemprieg\\_asp.htm](http://www.elriego.com/informa_te/Calculos/calc_tiemprieg_asp.htm)> (consulta: 24 de noviembre de 2011)

Figura 19. Zona de Riego



- Cálculo de la pluviometría o intensidad de lluvia

Una vez determinada el área se pasa a calcular la pluviometría<sup>38</sup> o intensidad de lluvia por metro cuadrado que necesita el suelo, esto quiere decir que:

Ecuación 10. 
$$P = \frac{Q}{S}$$

Donde:

P= Pluviometría

Q= Caudal del aspersor de 360° en l/h.

S= Superficie transformada regada en m<sup>2</sup>.

Es decir que:

---

<sup>38</sup> Es la cantidad de agua aportada al suelo por m<sup>2</sup> en la unidad de tiempo (hora). Se expresa en mm/h o l/m<sup>2</sup>/hora.

$$P = \frac{1400}{100}$$

$$P = 14 \text{ L/mm}^2 / h$$

Este valor es la cantidad de pluviometría que necesita el suelo en una hora.

- Cálculo del tiempo de riego

Entonces se pasa a determinar durante cuánto tiempo al día es necesario regar para que la intensidad de lluvia sea adecuada, es decir que el tiempo de riego es igual a la *necesidad de agua*<sup>39</sup> sobre la pluviometría del suelo, es decir:

Ecuación 11. 
$$TR = \frac{ND}{P}$$

Donde:

TR= Tiempo de riego

ND= Necesidades diarias de agua en mm/día.

P= Pluviometría en mm/h.

Por lo tanto para este proyecto tenemos que:

$$TR = \frac{6.3 \text{ mm/día}}{14 \text{ (mm/h)}}$$

Obtenemos que:

$$TR = 0.45 \text{ día/h}$$

Se convirtió a minutos para determinar tiempo real:

$$TR = 0.45 \times 60$$

$$TR = 27 \text{ min} \sim 30 \text{ min/día}^{40}$$

---

<sup>39</sup>El riego. Necesidades diarias de agua. [consulta de internet] disponible en:

<[http://www.elriego.com/informa\\_te/Calculos/calc\\_necdiariasrieg.htm](http://www.elriego.com/informa_te/Calculos/calc_necdiariasrieg.htm)> [Las necesidades de agua para un ambiente cálido y húmedo como es el de Barranquilla es de 6.3mm]

<sup>40</sup> los tiempos varían dependiendo el ambiente que rodea al jardín, tipo de suelo y cantidad de aspersores

Obtuvimos que para que el jardín obtenga la cantidad de agua necesaria es preciso regar un promedio de 26 minutos al día.

### 7.3.2 Depósito de agua

Para la escogencia del contenedor<sup>41</sup> se debe tener en cuenta la capacidad que tiene la bomba en vaciar el tanque y el tiempo que este demora en hacerlo, también se tiene presente el tiempo de autonomía que se pretende para el sistema de riego; teniendo estos factores presente, por criterio de operación se determina la escogencia de un tanque que tiene la capacidad de almacenar un total de 500Lts.

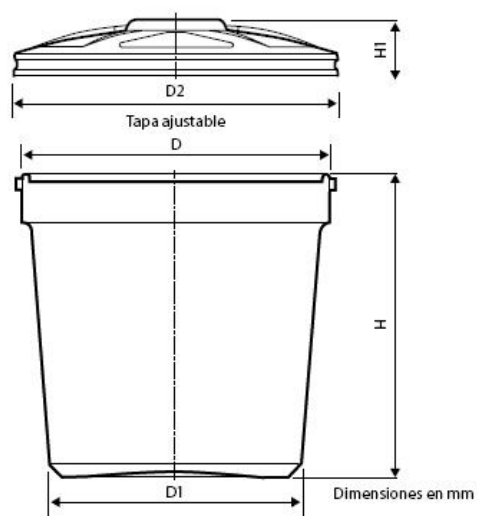
Figura 20. Contenedor de agua



---

<sup>41</sup> Eternit. Tanques plásticos : especificaciones físicas [consulta de internet] disponible en: <[http://www.eternit.com.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=48&Itemid=83](http://www.eternit.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=83)> (consulta: 11 de diciembre 2011)

Figura 21. Especificaciones físicas del depósito de agua



Cuadro 3. Especificaciones Físicas del Tanque

CAPACIDAD LITROS	TANQUE mm			TAPA mm		PESO kg
	D	D1	H	D2	H1	TANQUE + TAPA
250	810	677	720	850	136	7.62
500	931	758	934	975	170	11.00
1000	1.232	1.031	1.030	1.275	236	23.10
2000	1.520	1.220	1.550	1.585	280	38.30

- Tiempo de vaciado y llenado del tanque.

Como el vaciado del tanque no es por gravedad por lo contrario, el vaciado de este va sujeto a la capacidad de bombeo de la bomba sumergibles, el tiempo que demora en vaciarse el contenedor es el mismo tiempo que demora la bomba en expulsar o bombear el liquido fuera de este; sabemos que este tiempo puede variar dependiendo de la cantidad que liquido que tenga el contenedor y a la capacidad de bombeo que esta tenga.

Para el llenado del tanque es necesario utilizar un sistema mecánico el cual actúa con una boya de nivel ubicada en la parte superior del tanque, esta se activara en el momento en que el nivel del agua dentro del recipiente comience a disminuir. El funcionamiento de este mecanismo consiste en permitir el ingreso del agua por una válvula que esta pose, una vez la boya baje su posición abrirá el dispositivo y esta permitirá el ingreso del agua. De acuerdo a esto el tiempo de llenado del tanque estará sujeto a la presión del agua en donde se vaya a implementar este prototipo de riego.

- Red de tuberías

Para poder escoger la tubería del sistema de riego se debe tener presente que existen varios factores que influyen en la determinación de una red de tubería entre estos encontramos la presión del agua, el golpe de ariete, distancia de la tubería, perdidas de carga, caudal etc., entre estas la más importante es la presión del agua en el lugar de trabajo debido a que esta nos dará las pautas necesarias para determinar cuál sería el diámetro que se debe escoger para la red de tubería. Para determinar la presión de agua debemos saber cuál es el caudal que pasara por la tubería, el cual viene determinado por la bomba sumergible la cual es de 70 a 140 litros por minuto (L/min), esto quiere decir que el caudal en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/seg.) es de 4.2 a 8.4 m<sup>3</sup>/seg

$$Q = 70 \text{ L/min} \quad Q = 70 \frac{\text{L}}{\text{min}} \rightarrow \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \rightarrow \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \rightarrow Q = 0.001 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 140 \text{ L/min} \quad Q = 140 \frac{\text{L}}{\text{min}} \rightarrow \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \rightarrow \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \rightarrow Q = 0.002 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Donde:

Q= Caudal



En pruebas realizadas en las instalaciones de la Corporación Universitaria De La Costa con la bomba sumergible (ver punto 8.1.6) y demás elementos que intervienen en este prototipo y con la información del fabricante se determina que la tubería que será utilizada en este prototipo. Debido a que la bomba sumergible maneja una presión de 8 m.c.a.<sup>42</sup>. (Ver tabla 1). Para determinar la presión con la cual trabaja la bomba en **psi**<sup>43</sup> se convierte los 8m.c.a. en bar y el resultado obtenido se convierte posteriormente en **psi** para comparar con los datos del proveedor cual será el diámetro adecuando para la red de tubería a implementar en el prototipo

Ecuación 12.  $1 \text{ bar}^{44} = 9.88 \text{ m.c.a.}$

Ecuación 13.  $8\text{m.c.a.} = 0.809 \text{ bar}$

Ecuación 14.  $1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi}$

Ecuación 15.  $0.809 \text{ bar} = 11.73 \text{ psi}$

Una vez obtenido este valor de 11.73 psi, se compara con los datos del el proveedor<sup>45</sup> y se puede determinar que cualquier tubería que se escoja debido a la presión normal de operación del sistema podría servir para el prototipo, pero por criterio de operación se recomienda utilizar una tubería de tres cuarto (3/4) de pulgada la cual entrega la presión deseada para este prototipo.

Se determina escoger este diámetro de tubería puesto que si se llega a escoger una tubería de menor diámetro, esta podría restarle fuerza al sistema y no cumpliría con la meta propuesta; lo mismo sucedería al escoger una tubería de mayor diámetro la cual le restara presión al sistema y no cumpliría con los requisitos de operación ocasionado pérdidas en el sistema

Para el riego residencial y agrícola normalmente se utilizan tubería de tipo **PVC** (Policloruro de Vinilo) y de tipo **PE** (Polietileno) ya que estas son tan resistentes como económicas para este fin. Para la realización de la red de tubería se determino por criterio de operación que todos los accesorios como codos, tramos o cualquier elemento que en esta sea utilizado serán de **PVC**

---

<sup>42</sup> Metros columna de agua

<sup>43</sup> Libras por pulgada cuadrada

<sup>44</sup> Unidad de presión atmosférica

<sup>45</sup> Celta. Tubos de pvc Extremo liso [consulta de internet] disponible en:

<[http://www.celta.com.co/Construccion\\_color.pdf](http://www.celta.com.co/Construccion_color.pdf)> (consulta: 11 de diciembre 2011)

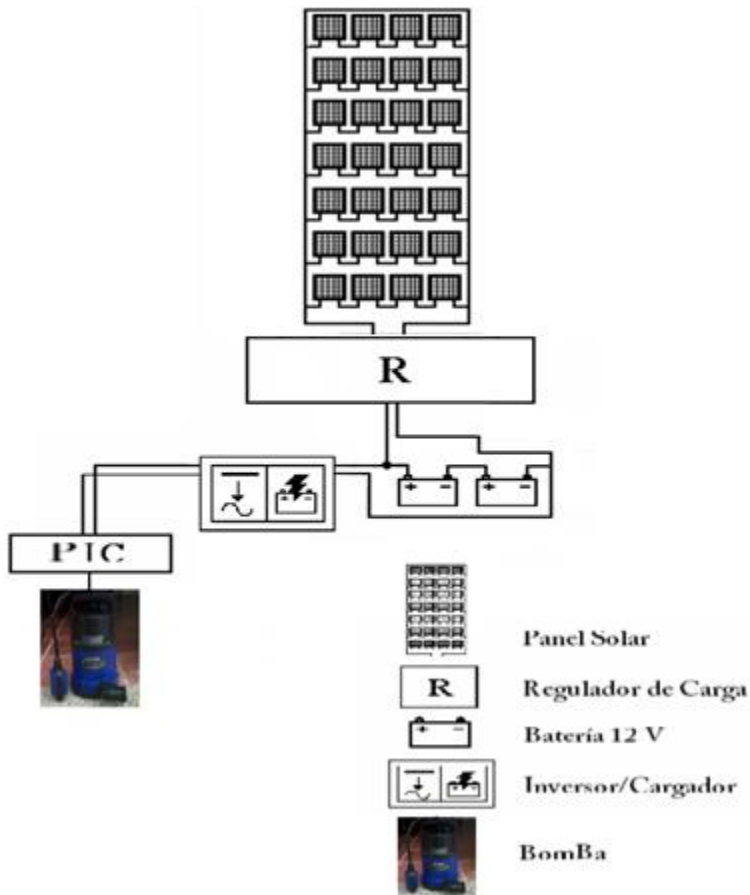
Los factores que influyen en la pérdida de presión o daños a la tubería como el golpe de ariete, pérdida de carga son descartados puesto que sus valores son mínimos y no afectan o influyen en el sistema.

## 7.4 DISPOSICIÓN FINAL DEL SISTEMA

### 7.4.1 Topología del sistema

Con los componentes escogidos la topología del sistema es tal como se muestra en la figura 21. (El esquema mostrado es para una autonomía de 5 días).

Figura 22. Sistema de riego diseñado



- Cableado

Bajas tensiones y corrientes elevadas son característicos en sistemas FV, incluso caídas pequeñas de tensión tienden a ser significativas y generan efectos negativos sobre la corriente entregada por el generador fotovoltaico, la regulación de carga de la batería y la vida útil de la bomba sumergible.

Por estas razones, debe evitarse las caídas de tensión dimensionando adecuadamente el cableado. Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean menores al 5% entre el generador y el regulador, menores de 1% entre el regulador y las baterías, e inferiores a 5% entre el regulador de carga y la bomba. Esto en condiciones de máxima corriente.

- Cálculo del calibre de los conductores

Para determinar cuál es el conductor más adecuado para el sistema se deben tener en cuenta la potencia y la tensión que maneja el sistema; como recordamos la potencia nominal que maneja el sistema es de 264W y una tensión de 110V.

Para determinar el conductor lo más importante es saber cuál es la corriente que será transmitida por el conductor, esta corriente se determina con la fórmula donde la corriente es igual a la potencia del sistema entre la tensión del mismo.

Ecuación 16. 
$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{voltaje}} \rightarrow \frac{P}{V}$$

Donde:

I= intensidad de corriente

P= Potencia

V= Voltaje o Tension

$$I = \frac{264 \text{ W}}{110 \text{ V}} \rightarrow I = 2.4 \text{ Amp}$$

De acuerdo a la tabla<sup>46</sup> 310.16 del Manual del Código Eléctrico Colombiano (NTC2050) para una corriente de aproximadamente 2.08 a 3.38Amp establece que el calibre del conductor será de 12 a 14 AWG.

---

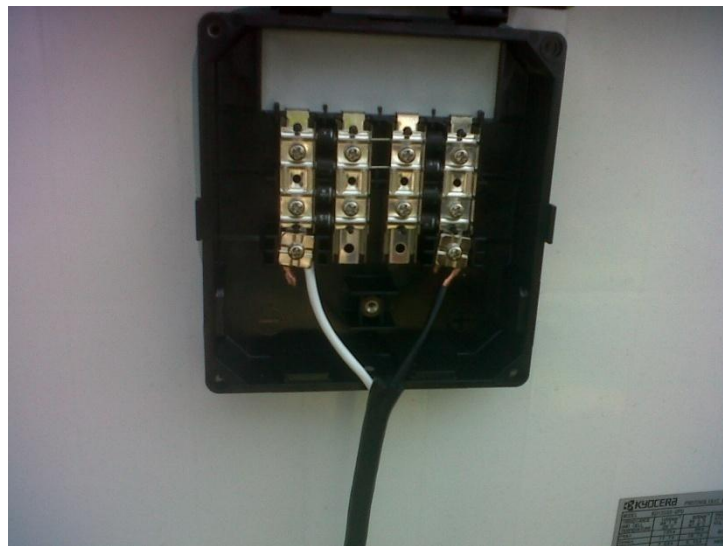
46 Colombia. Dávila H, Villa C. Manual de código eléctrico colombiano (NTC2050) Pereira. 2004  
[Consulta de internet] disponible en:

Para este proyecto por criterio de operación y basándose en la tabla 310.16 de la NTC2050 se estableció utilizar un conductor de calibre 12 AWG pues si se utiliza el conductor de calibre 14 AWG este no sería el adecuado, este conductor será utilizado en los tramos del pic hacia la bomba sumergibles.

Para determinar el calibre que se debe utilizar en los tramos que se encuentran de la batería al regulador y de la batería hacia el inversor se establece que este es el mismo calibre utilizado en los tramos que van del pic hacia la bomba sumergible puesto que la bomba al ser la cara a la cual el sistema va a alimentar esta determina el calibre el cual se debe utilizar en este sistema.

- Conexionado

Figura 23 Conexión de módulos FV



Seguidamente se debe conectar el módulo FV al regulador de carga, como se muestra en la figura 15, respetando la polaridad del sistema. Las baterías deben ser conectadas paralelamente para obtener valores de corriente altos y posteriormente se conectadas al regulador de carga.

Figura 24 Conexión de Baterías al regulador de carga



Luego de tener conexas el módulo FV y las baterías al regulador de carga, se conecta el inversor y el sistema de control (PIC). Para completar el conexionado se prosigue a conectar la bomba sumergible.

## 7.5 DELIMITACIÓN

Debido a que el prototipo está dirigido hacia el uso de la energía solar como fuente de alimentación de un sistema de riego automatizado, se debe tener en cuenta el espacio físico donde se ubicaran los elementos que conforman el armado general del sistema y el tiempo de culminación del proyecto,.

## 7.6 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El área en el cual el proyecto se va a desarrollar está constituida por dos zonas:

- **Zona 1:** Está conformada por los módulos FV los cuales serán ubicados en la parte superior de la entrada de la Corporación Universitaria Latinoamericana.
- **Zona 2:** Está conformada por el sistema actuador el cual consta de el sistema de control, sistema de almacenamiento energético, y sistema de riego, el cual los dos primeros estarán ubicados dentro de las instalaciones de la universidad y el tercero está ubicado en el jardín izquierdo de la entrada de la Corporación Universitaria Latinoamericana o jardín que antecede a la oficina de admisiones de la Corporación Universitaria De La Costa.

## 7.7 ALCANCE

- Se realizó la implementación del sistema de riego a uno de los jardines de la institución.
- Se entregó un sistema de riego que promueva el uso de fuentes renovables dentro de la institución.

## 7.8 LIMITACIONES

- Se contará con los paneles fotovoltaicos del laboratorio de fuentes renovables y demás elementos requeridos para su operación (Banco de baterías, inversor, regulador de carga).
- El proyecto está sujeto a la capacidad de radiación solar que puedan recolectar los paneles solares de la institución.

## 8. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

El Prototipo Automático de riego con uso de fuentes renovables se encuentra dividido en 3 (tres) sistemas fundamentales, los cuales son: Sistema de generación, Sistema de control y el Sistema actuador. Cada uno de estos sistemas comprende diferentes componentes asociados para el correcto funcionamiento del sistema al cual pertenecen, estos componentes se detallaran a continuación con sus características técnicas:

### 8.1 COMPONENTES DE FUENTES RENOVABLES

#### 8.1.1 Módulos fotovoltaicos<sup>47</sup>

Los módulos fotovoltaicos que se utilizaran en el Prototipo son los suministrados por la institución, sus especificaciones son las siguientes:

Figura 25. Corriente y voltaje característicos del modulo FV KD135SX-UPU, a varios niveles de temperatura (a) y a varios niveles de irradiancia (b).

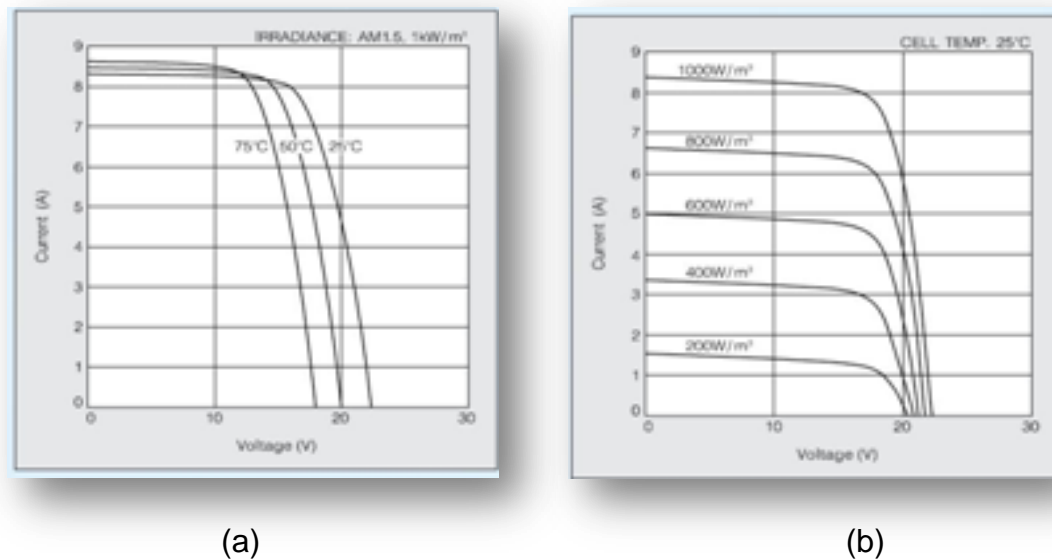
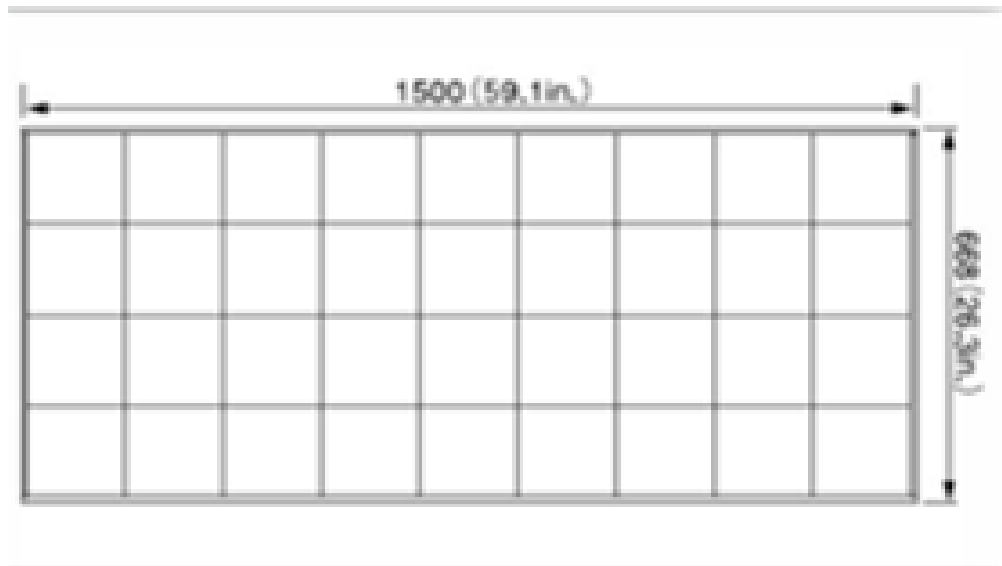
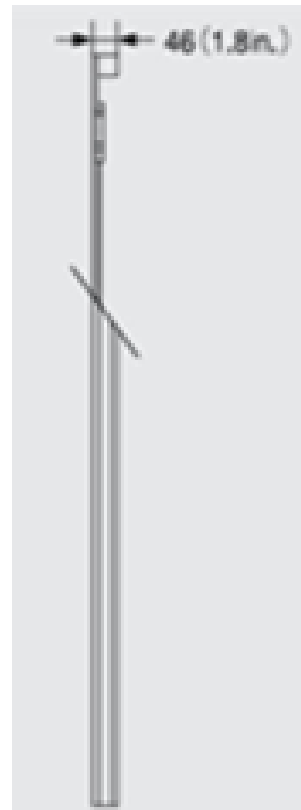
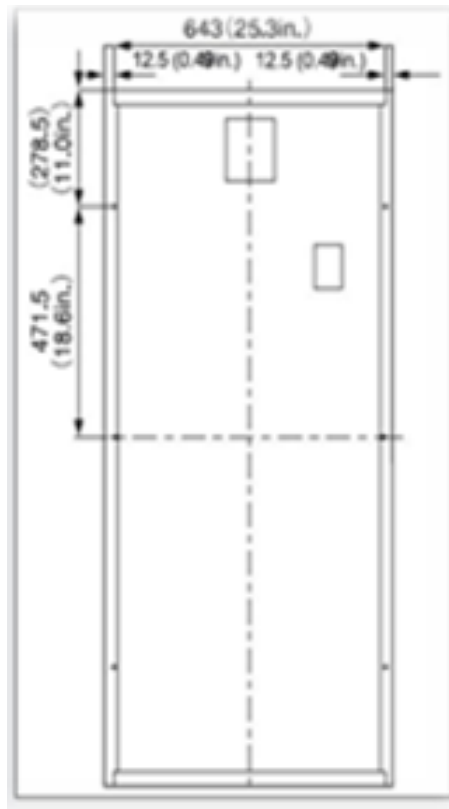


Figura 26. Características Físicas

<sup>47</sup> Kiosera. Modulo solar XD135SX-UPU.[Consulta de internet] disponible en: [http://www.sunelec.com/Specs/Kyocera/kd135sx\\_upu.pdf](http://www.sunelec.com/Specs/Kyocera/kd135sx_upu.pdf) [Todas las imágenes referentes a módulos solares están referenciadas en esta cita] (consulta 15 de octubre 2011)





Cuadro 4. Características Específicas

ESPECIFICACIONES			
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS EN CONDICIONES ESTÁNDARES		CELIDAS	
POTENCIA MÁXIMA	135W (+5%/-5%)	Nº DE CELIDAS POR MODULO	36
VOLTAJE MÁXIMO	17.7V	CARACTERÍSTICAS DEL MODULO	
CORRIENTE MÁXIMA	7.63A		
VOLTAGE DE CORTO-CIRCUITO	22.1V		
CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO	8.37A		
MÁXIMO VOLTAJE DEL SISTEMA	600V		
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE Voc	8,0 x 102 V/°C	LONGITUD	1500mm(59,1in)
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE Isc	5,02 x 103 A/°C	ANCHO	668mm(26,3in)
IRRADIACIÓN 1000W/m2, TEMPERATURA DE CELDAS 25°		PROFUNDIDA D	46mm(1,8in)
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS A 800W/m2. NOTC AM1.5		PESO	12,5Kg (27,55lbs)
		CARACTERÍSTICAS CAJA DE COECCION	
		LONGITUD	150 mm(5,9in)
		ANCHO	140mm(5,5in)
		PROFUNDIDA D	37,2mm(1,5in)
POTENCIA MÁXIMA	95W	CÓDIGO IP	IP65
VOLTAJE MÁXIMO	15.7V	OTROS	
CORRIENTE MÁXIMA	6.10A	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-)40°C -- 90°C
VOLTAGE DE CORTO-CIRCUITO	20.0V	FUSIBLE MÁXIMO	
CORRIENTE DE CORTO-CIRCUITO	6.79A	ESTA TEMPERATURA ESTA BASADA EN LA TEMPERATURA DE LAS CELDAS	
(TEMPERATURA DE OPERACIÓN NORMAL) 47,9°C			

### 8.1.2 Almacenamiento Batería

Para lograr almacenar<sup>48</sup> la energía eléctrica transformada por los módulos FV, es necesario un arreglo de baterías él, las cuales se detallaran a continuación:

Figura 27. Batería Trojan alta profundidad



---

48 Baterías industriales. Batería SCS 225 [Consulta de internet] disponible en: <http://www.bateriasindustriales.com.mx/fichatecnica/TROJAN-SCS225-12V.pdf> [Todos los datos referentes a baterías están referenciadas en esta cita] (consulta 15 de octubre 2011)

Cuadro 5. Especificaciones batería Trojan

TIPO
SCS225
PESO en lbs (Kg)
66 (30)

DIMENSIONES		
L	W	H
13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 7/8 (251)

CAPACIDAD DE MINUTOS			CICLOS DE VIDA	LEUS	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE DESCARGA	5 Hr Tasa AH	20 Hr Tasa AH	VOLTAJE	TERMINAL
@25 Amps	@56 Amps	@75 Amps							
225	-	57	350	373 Kw/h	80%	105	130	12	DWNT

### 8.1.3 Regulador de carga

En un sistema como este donde la generación es por módulos fotovoltaicos es normal obtener variaciones que van sujeta a la radiación solar es por esto que se hace necesario tener presente en el grupo de elementos que intervienen en este sistema un regulador de carga el cual es el encargado de estabilizar la carga de los elementos como la batería

#### Características del regulador

- Regulador serie
- Regulador de tension
- Selección automática de tension
- Regulacion MAP
- Tecnologia de carga en funcion de la corriente
- Desconexion de carga en funcion de la corriente
- Reconexion automatica del consumidor
- Compensacion de temperatura
- Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o solo en uno de los terminales negativos
- Carga mensual de mantenimiento

### **Funciones de proteccion electronica**

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobret temperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

### **Certificaciones**

- Conforme a los estandares europeos
- Onforme a RoHS
- Desarrollado en alemania
- Fabricado conforme a ISO 9001
- E ISO14001

### **8.1.4 Inversor de voltaje**

En este sistema donde la tensión generada por los módulos fotovoltaicos es en corriente continua (DC) y los elementos que utilizan esta tensión la requieren en corriente alterna (AC) es necesario utilizar un dispositivo el cual cambie este voltaje, debido a esto es necesario un inversor (La función general de este dispositivo esta descrita en la sección 7.4)

- **Características<sup>49</sup>**
  - Inversor 400: 320 vatios de potencia continua de 640 vatios aumento
  - Inversor 800: 640 vatios de potencia continua de 1280 vatios aumento
  - Dos tomacorrientes para conectar múltiples cargas
  - Perfil para un fácil almacenamiento
  - LED digital al instante proporciona información sobre:
    1. la cantidad de potencia es una aplicación de dibujo
    2. la cantidad de voltaje en la batería
    3. códigos de error para hacer más fácil la solución de problemas

---

<sup>49</sup> Eco direct. Inversor de carga [Consulta de internet] disponible en:

<<http://www.ecodirect.com/Xantrex-813-0800-00-800W-12V-Inverter-p/xantrex-xp-digital-800.htm>>

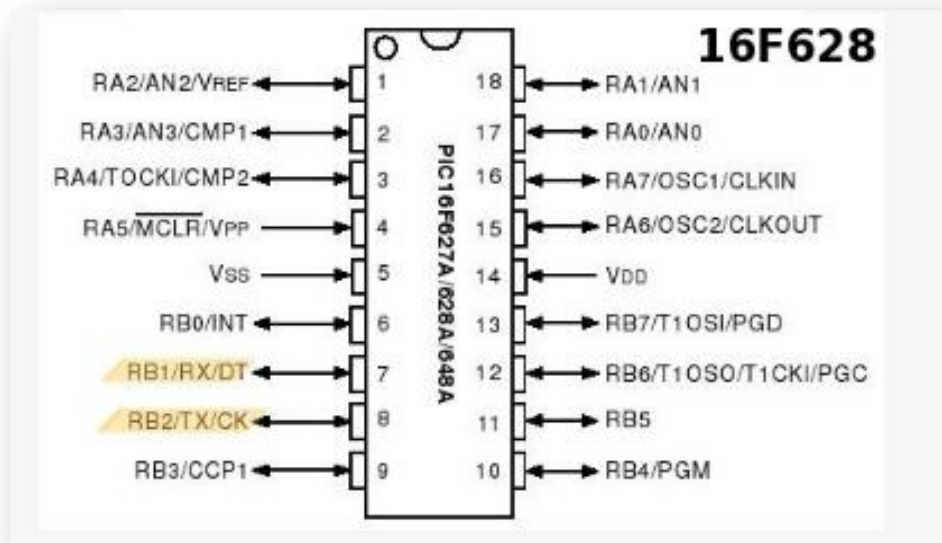
[Todos los datos referentes a inversor de carga están referenciadas en esta cita] (consulta 07 de enero 2011)

- Descripción detallada
- Características de protección
  1. Sobrecarga de exceso de temperatura de apagado
  2. Protección contra sobretensiones
  3. Alarma de bajo voltaje
  4. Desconexión de bajo voltaje

### 8.1.5 Componentes Electrónicos

Características del PIC16F628 el cual será utilizado para en prototipo:

Figura 28. Salidas Pines



- Descripción de los pines del PIC16F628

Cuadro 6. Descripción de pines del PIC 16F628

Nombre	Pin #	Tipo I/O/P	Tipo Buffer	Descripción
RA0/AN0	17	I/O	ST	Bi-direccional de E / S del puerto de entrada / comparador analógico
RA1/AN1	18	I/O	ST	Bi-direccional de E / S del puerto de entrada / comparador analógico
RA2/AN2/VREF	1	I/O	ST	Bidireccional puerto I / O analógico / comparador de entrada / salida VREF
RA3/AN3/CMP1	2	I/O	ST	Bidireccional puerto I / O / entrada del comparador analógico / comparador salida
RA4/T0CKI/CMP2	3	I/O	ST	Bidireccional puerto I / O / Se puede configurar como T0CKI/comparador salida
RA5/MCLR/THV	4	I	ST	Puerto de entrada / borrado general (entrada de reset / voltaje de programación de entrada. Cuando se configura como MCLR, este pin es un activo de baja para restablecer el dispositivo. Tensión en MCLR / THV no debe exceder de VDD durante el funcionamiento normal del dispositivo.
RA6/OSC2/CLKOUT	17	I/O	ST	Bi-direccional de E / S puerto / salida del oscilador de cristal. Conexión cristal o resonador en el modo de oscilador de cristal. en ER modo, OSC2 pin CLKOUT salidas que tiene 1 / 4 de la frecuencia de OSC1, y denota la tasa de ciclo de instrucción.
RA7/OSC1/CLKIN	18	I/O	ST	Bidireccional puerto I / O / oscilador de cristal de entrada / externa reloj de la fuente de entrada. ER polarización pin.
RB0/INT	7	I/O	TTL/ST <sup>(1)</sup>	Bi-direccional de E / S puerto / interrupción externa. Puede ser el software programado para el pull-up.
RB1/RX/DT	8	I/O	TTL/ST <sup>(3)</sup>	Bi-direccional de E / S puerto / USART recibir pin / síncrono datos I / O. Puede ser programado para software interno pull-up.
RB2/TX/CK	9	I/O	TTL/ST <sup>(3)</sup>	Bi-direccional de E / S puerto / USART transmitir pin / síncrono reloj de E / S. Puede ser programado para software interno pull-up.
RB3/CCP1	10	I/O	TTL/ST <sup>(4)</sup>	Bi-direccional de E / S puerto / Captura / Comparación / PWM I / O. puede ser un software programado para los débiles de pull-

				up.
RB4/PGM	11	I/O	TTL/ST <sup>(5)</sup>	Bi-direccional de E / S puerto / Bajo voltaje de entrada de PIN de programación. Despertar del sueño en el cambio de PIN. Puede ser el software programado para el pull-up. Cuando baja tensión programación está activada, la alarma sobre el cambio pin y débil resistencia pull-up son discapacitados.
RB5	12	I/O	TTL	Bi-direccional de E / S puerto / despertador de SLEEP en el pin el cambio. Puede ser programado para software interno pull-up ..
RB6/T1OSO/T1CKI	13	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Bi-direccional de E / S port/Timer1 oscilador output/Timer1 reloj de entrada. Despertar durante el sueño en el cambio de PIN. Puede ser software programado para el pull-up.
RB7/T1OSI	14	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Bi-direccional de E / S port/Timer1 entrada del oscilador. Despertarse de SLEEP en el cambio de PIN. Puede ser programado por software para el pull-up.
VSS	5.6	P	-	Tierra de referencia para la lógica y los pines de E / S.
VDD	15.16	P	-	Alimentación positiva para la lógica y los pines de E / S.

Leyenda:

O = salida  
 - = No se usa  
 TTL = TTL Entrada  
 I / O = Entrada / Salida  
 I = Entrada  
 I/O/OD = Entrada/Salida de colector abierto  
 P = Potencia  
 ST = Entrada Schmitt Trigger

. Resistencia eléctrica:

Son elementos electrónicos<sup>50</sup> capaces de inducir una resistencia eléctrica entre dos puntos de un circuito, para la clasificación de la resistencia existe un código de colores los cuales determinan la capacidad de estas, este código de colores clasifica las resistencias de la siguiente manera:

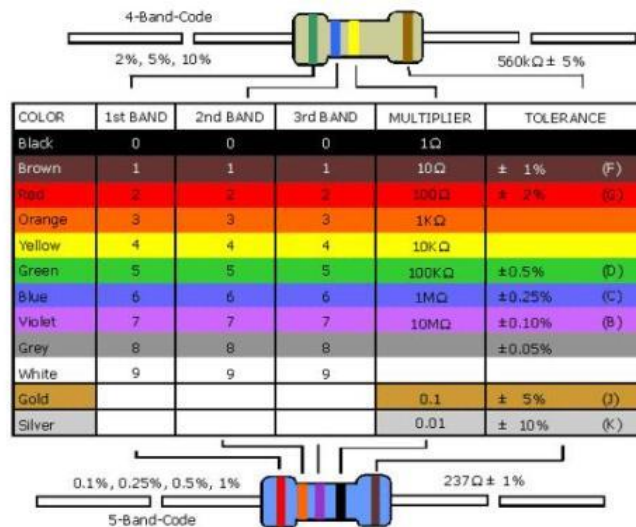
---

50Yo reparo. Código de colores para resistencia. [Consulta de internet] disponible en:  
 <[http://www.yoreparo.com/foros/files/articulo\\_038\\_-\\_ohm\\_-\\_codigo\\_de\\_colores\\_resistencia.jpg](http://www.yoreparo.com/foros/files/articulo_038_-_ohm_-_codigo_de_colores_resistencia.jpg) >  
 [Todos los datos referentes a resistencia eléctrica están referenciadas en esta cita] (consulta 07 de enero 2011)



1. La primera línea representa el dígito de las decenas.
2. La segunda línea representa el dígito de las unidades.
3. La tercera línea representa la potencia de 10 por la cual se multiplica el número.
4. La última línea representa la tolerancia que la resistencia posee.

Figura 29. Código de colores para resistencias



- Diodo:

Es un elemento electrónico el cual tiene la capacidad de dejar circular la corriente eléctrica en un solo sentido, existen diferentes tipos de diodos entre estos los diodos zener, led, foto diodos, etc.

- Diodos led:

Son diodos que en el momento de polarizarlos de forma directa emiten una luz incoherente de espectro reducido.

- Rectificador de voltaje:

El rectificador de media onda es un circuito empleado para eliminar la parte negativa o positiva de una señal de corriente alterna de entrada convirtiéndola en corriente directa de salida

- Condensadores:

Es un componente electrónico capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico, está formado por dos placas paralelas separadas por un material dieléctrico.

- Auto transistor:

El transistor bipolar conocido universalmente con la simple denominación de transistor es un elemento de circuito de tres terminales que puede cumplir funciones de amplificador (operación lineal) o llave (operación en la zona de corte y saturación).

- Relé:

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre, al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán

- Pulsador:

Dispositivo electrónico utilizado para interrumpir o permitir el paso de la corriente

- Terminal de tres (3) pines:

Este terminal o también conocido como soporte sirve para instalar sobre él, cualquier elemento eléctrico que deseamos ubicar con la posibilidad de poder cambiarlo en caso de alguna falla o daño sin dañar el circuito.

En este proyecto en la parte del controlador se usaran una serie de componentes electrónicos que permitirán crear un circuito capaz de controlar los riegos automáticamente, las piezas serán:

- 2 resistencias de 220ohm ( $\Omega$ ) las cuales podemos identificar con la secuencia de colores: rojo-rojo-marrón-dorado
- 1 resistencia de 10ohm ( $\Omega$ ) las cuales podemos identificar con la secuencia de colores: marrón-negro-negro-dorado.

- Un diodo led el cual nos mostrara el momento en el que se encuentre activado el sistema de control.
- Un diodo de referencia UM4001<sup>51</sup> el cual tiene una mayor potencia debido la corta trayectoria térmica entre el chip, también tiene un alto almacenamiento de carga.
- Un rectificador de voltaje de 5V – 12V el cual estabilizara el voltaje para que la tensión no sobre pase los limites de trabajo.
- 2 condensadores de una capacidad de 10 micro-faradios ( $\mu$ f).
- Un transistor de referencia 3011.
- Un relé o interruptor el cual se activara al paso de la corriente.
- 2 pulsadores o switches.
- 1 terminal de tres (3) pines como soporte de un integrado.

### 8.1.6 Componentes Mecánicos

A continuación se describen los elementos mecánicos asociados al sistema.

- Bomba sumergible

Figura 30. Bomba Sumergible Karson




---

<sup>51</sup>Datasheet. Diodo UM4001 [Consulta de internet] disponible en:  
<<http://www.datasheetarchive.com/UM4001-datasheet.html>> (consulta 07 de enero 2011)

Cuadro 7. Características Eléctricas Bomba Sumergible

Características eléctricas	Modelo QSB-JH-400
Potencia (watts)	400 W
Potencia (HP)	0.5 Hp
Capacidad de bombeo	70Lt/min-142Lt/min
Altura máxima	8 metros
Corriente nominal	1.5 Amperios
Frecuencia	60hz
Voltaje nominal	110v

- Pruebas de funcionamiento del sistema

Los siguientes ensayos fueron realizados previamente con los equipos de prueba disponibles para la obtención de valores base para el cálculo de las distintas variables que intervienen en el proceso de generación y consumo de la energía de los módulos FV.

- Pruebas a los módulos fotovoltaicos

Estas pruebas fueron realizadas para la estimación de la radiación en el área en la que se pretende realizar el riego.

Figura 31. Modulo fotovoltaico de Prueba



La radiación obtenida durante esta prueba fue de 5 Kw/m<sup>2</sup>

- Pruebas a bomba sumergible

Se realizaron distintas pruebas a la bomba sumergible marca KARSON Modelo QSB-JH-400, las cuales arrojaron como resultado la corriente, voltaje y potencia real consumida por el equipo. Estos datos son de gran beneficio para calcular la carga real que deben abastecer los módulos FV.

Figura 32. Prueba a Bomba Karson



Cuadro 8. Prueba a Bomba Sumergible

Pruebas a bomba sumergible sin módulos FV				
	Alimentación Fuente 110 V		Alimentación batería	
	Arranque (A)	Estable (A)	Arranque (A)	Estable (A)
Prueba Sin carga	4.6	1.5	3.1	1.6
Prueba Con carga	5.2	2.2	4.8	2.4

- Procedimiento

1. Inmersión de la bomba KARSON dentro de un depósito con agua para simular la prueba.

Figura 33. Bomba en depósito de agua



2. Toma de datos a través de equipo de medida (pinza amperimétrica)

Figura 34. Pinza amperimétrica



3. Realización de prueba con batería e inversor



Figura 35. Batería e inversor



#### 8.1.7 Pruebas a prototipo completo

Para la realización de esta prueba se procedió a ejecutar el armado completo del prototipo de riego. Desde los paneles solares como generadores fotovoltaicos hasta los aspersores los cuales son el último escalón de este prototipo.

La conexión que se debe realizar para el correcto funcionamiento de la parte generadora de este prototipo debe ser en paralelo, esto se logra conectando el barraje positivo de los paneles entre sí a igual que el barraje negativo de estos. Una vez esté conectado los módulos FV se deriva la conexión hacia el regulador de carga el cual posee tres entradas, la primera para los módulos, la segunda para las baterías, y la tercera para la carga.

Una vez realizado el armado completo del prototipo (ver anexo 2) se pasa a realizar las conexiones eléctricas correspondientes, conexiones entre los paneles fotovoltaicos, las baterías, regulador de carga, PIC de control, Inversor de carga y finalmente la bomba sumergible. Posterior a esto se realiza el armado completo de la red de tubería empezando desde la salida de la bomba la cual tiene un diámetro de una (1") pulgada la cual será llevada hasta la salida del tanque con. Posteriormente se reducirá su diámetro a tres cuarto (3/4") de pulgada. (ver sección 8.4)

La reducción de la tubería de una (1") pulgada a tres cuarto (3/4") de pulgada se realizó en la salida del tanque donde la unión es de una (1") pulgada dentro del tanque y fuera de este es reducida a tres cuarto (3/4") de pulgada.

Entre la bomba sumergible y la salida del tanque se instalara una unión universal de una (1") pulgada a una (1") pulgada con el fin de poder desconectar de la red de tubería la bomba sumergible, si es necesario realizar algún mantenimiento, también se instalara una unión universal de tres cuarto (3/4") a tres cuarto (3/4") de pulgada una vez la red de tubería salga del tanque esto con la finalidad de poder desconectar la red de tubería si desea ser modificar o trasladarla a uno nuevo sitio.

Una vez realizado todo el armado en general del prototipo se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento de este. La pruebas consistieron en:

- Medición de voltaje en las baterías
- Funcionamiento del PIC de control
- Generación fotovoltaica
- Presión del sistema
- Ubicación de los aspersores
- Mediciones

Para determinar cuál es el voltaje de las baterías estas deben ser conectadas al inversor de carga el cual al momento de encender una vez ya estén conectado las baterías mostrara cual es la carga que estas poseen.

Al momento de iniciar la prueba las baterías se encontraban descargadas puesto que el inversor mostraba que están estaban por debajo del nivel de operación el cual es 12.8 voltios debido a esto se procedió a conectar los paneles fotovoltaicos y las baterías para q estas fueran cargadas (ver anexo 3).

Con esto se pudo realizar pruebas con respecto a tiempo que demora la batería en cargarse al nivel de operación el resultado arrojado fue que para que las baterías se carguen correctamente es necesario un promedio de dos horas treinta minutos (2:30min) a tres horas (3 H) diarias de radiación solar continua (días en los cuales se presente baja nubosidad). Pasado este tiempo se conecto el inversor de carga a las baterías para determinar cuál era la carga que estas poseían arrojado el resultado de 13.8 voltios lo cuales son niveles de carga óptimos para el funcionamiento del prototipo.

Una vez cargadas las baterías se procedió a realizar pruebas con respecto al PIC de control el cual fue activado manualmente por motivos de esta prueba, los resultados arrojados fueron los esperado en donde al momento de activar el PIC



de control la señal eléctrica en la salida fue positiva, queriendo decir con esto que al momento de conectar nuestra carga final la cual es la bomba sumergible, esta sería activada para dar comienzo al riego.

Al a ver pasado por estos diferentes pasos se procedió a realizar las pruebas con respecto a la presión del agua que debe manejar el prototipo la cual es otorgada por la bomba sumergible. Al momento de encender la bomba esta comenzó su funcionamiento (ver video 1) y seguidamente de esto el proceso de riego comenzó sin ninguna perturbación esta prueba se realizo durante quince (15) minutos seguidos simulando el estado real del prototipo, esto con el fin de probar la autonomía de las baterías, paneles solares, y demás componentes del sistema.

En el momento de realizar cada prueba se realizaron mediciones correspondientes para realizar un seguimiento a los componentes eléctricos del sistema. Se realizaron mediciones a los paneles solares las baterías y la bomba sumergible.

Las mediciones arrojadas por la bomba fue que en el momento del arranque su corriente fue de 5.4 Amp y al momento de estabilizarse su corriente fue de 2.4 Amp (se realizaron dos pruebas más arrojando los mismos resultados). Para las mediciones tomadas a los paneles solares el resultado fue que el voltaje entregado por estos varía en el orden de 11.8 voltios y 12.9 voltios.

Las mediciones realizadas a las baterías antes durante y después de las pruebas fueron:

Cuadro 9. Mediciones a batería<sup>52</sup>

Mediciones a batería en pruebas de funcionamiento			
Numero de prueba	Antes de prueba	Durante prueba	Después de prueba
Prueba No 1	13.8 V	13.8 V ~ 13.2 V	13.1 V
Prueba No 2	13.5 V	13.5 V ~ 12.8 V	12.6 V
Prueba No 3	13.1 V	13.1 V ~ 12.6 V	12.5 V

<sup>52</sup> Estas pruebas fueron realizadas en cortos lapsos de tiempo

Para la ubicación de los aspersores debido al alcance de estos se determino mediante las pruebas realizadas sepáralos entre sí con una distancia de 5 metros para mayor cobertura de terreno a regar (ver anexo 4)

## 9. RESULTADOS

Como resultado de esto obtenemos un sistema capaz de ser auto-sostenible y autónomo apto para realizar el trabajo de riego, debido a que las horas de riego y duración de estos pueden ser modificadas por un micro-controlador en épocas de lluvia se pueden variar los tiempos de riego. Este sistema es apto para ser utilizado en cualquier parte donde se le necesite, también es un sistema el cual puede ser ampliado dimensionándolo para la capacidad que se necesite esto puede hacerse adicionando mas paneles solares y a su vez reguladores de carga inversores y aumentando el banco de baterías; un sistema donde se emplearon nuevos fines para la energía solar el cual servirá de guía para futuros ingenieros.

La ejecución de un sistema como este en un lugar de alta concurrencia como lo es la Corporación Universitaria De La Costa da a entender que existe otra alternativa de gran importancia en el consumo eléctrico y una mejor forma de administrar nuestros recursos naturales en este caso el más preciado, la autonomía que se presenta en este sistema quiere mostrar que existe una manera de reducir los costos totales asociados a una acción tan normal como lo es el riego.

Este proyecto no solo es utilizado en riego localizados o centralizado, sino también esta forma revolucionaria de riego es utilizada para zonas agropecuarias en donde variando la forma de riego se encuentra un gran ahorro energético, abarcando grandes zonas de cultivos; esta manera de riego también se está implementando en diferentes países.

## **10.CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

De una manera general, podemos constatar al final de este proyecto que la energía solar brinda una alternativa de solución para propósitos que hasta ahora implican consumos elevados de recursos primarios como el agua y la energía eléctrica. Por lo tanto, el sistema creado para el aprovechamiento de estos recursos vitales es una muestra que se están realizando esfuerzos para disminuir el consumo de combustibles fósiles y contribuir al cuidado del medio ambiente.

Al haber realizado una caracterización completa al sistema antes de su utilización, hemos sido capaces de dimensionar nuestro sistema de riego, esto se baso en las diferentes mediciones, cálculos o pruebas que se realizaron a lo largo de la elaboración de este proyecto, se logro determinar cuáles y cuantas serian las pieza que mejor rendirían para la implementación de un sistema de riego autónomo alimentado con energía solar.

El diseño de este prototipo de riego automático con el uso de la energía solar como principal fuente de energía es un éxito debido a que da muestra de la importancia de los recursos con los que cuenta el ser humano para constituirse como una sociedad productiva sin desperdiciar los recursos con los que cuenta.

Este prototipo se baso en la utilización de dos (2) módulos solares de 130 Vatios, un (1) regulador de carga, un (1) inversor Xpower Digital 800w, dos (2) baterías de alta profundidad las cuales tienen una capacidad de 470.02 kWh, una (1) bomba sumergible de 0.5HP de potencia, una red de tuberías y 2 aspersores, los cuales se garantizan el optimo funcionamiento de un sistema de riego con el que se obtendrán ahorros de agua y energía eléctrica, beneficiando al medio ambiente y la Corporación Universitaria De La Costa "CUC".

Como recomendación para la implementación de este prototipo en las instalaciones de la Corporación Universitaria De la Costa. Se recomienda ubicar el recipiente de agua en la parte superior de la entrada de La Corporación Universitaria Latinoamericana "C.U.L." (ver anexo 5) esto con el fin de darle presentación al prototipo, también se recomienda instalar o ubicar los paneles solares en este mismo lugar puesto que en este sitio la incidencia solar es continua y proporcionara la suficiente radiación solar que requiere el prototipo para su correcto funcionamiento.

Siguiendo con las recomendaciones, con respecto a la red de tubería esta se debe instalar en la parte derecha de la entrada de la Corporación Universitaria Latinoamericana (ver anexo 13) bajando paralelamente a la pared de esta instalación, una vez llegado a este punto se recomienda instalar los aspersores con una distancia entre ellos de 5 metros para que estos logren abarcar la mayor parte del terreno a regar.

Para el sistema de control de este prototipo es recomendable ubicar esto dentro de las instalaciones (ver anexo 6) por seguridad, a su vez esto dentro de un compartimiento donde se ubicara la batería en la parte inferior de este, el regulador, el PIC de control y el inversor en la parte superior esto para darle presentación al sistema, para el cableado se recomienda utilizar un conductor numero 12AWG encauchetado para intemperies esto con el fin de proteger las conexiones eléctricas.

## 11. ANEXOS

### Anexo 1. Sistema de llenado



### Anexo 2. Prototipo de riego



### Anexo 3. Conexión para carga de batería

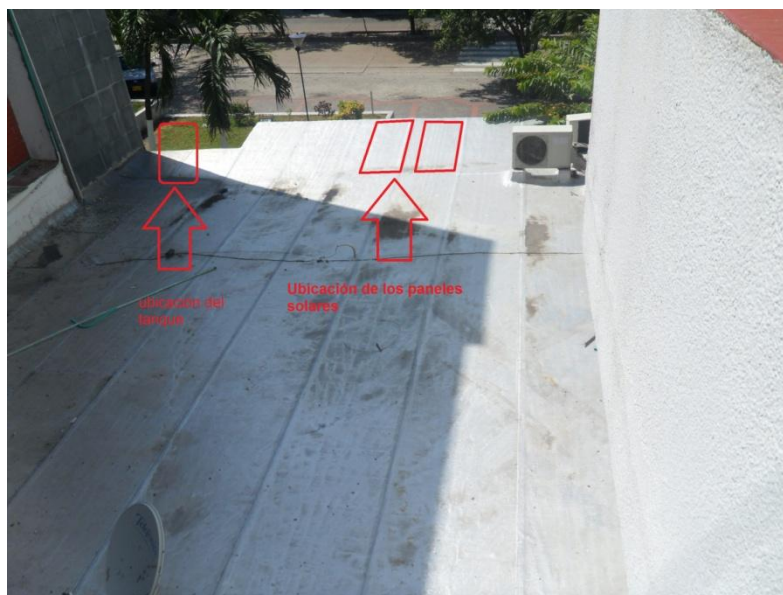


### Anexo 4. Prueba a aspersores

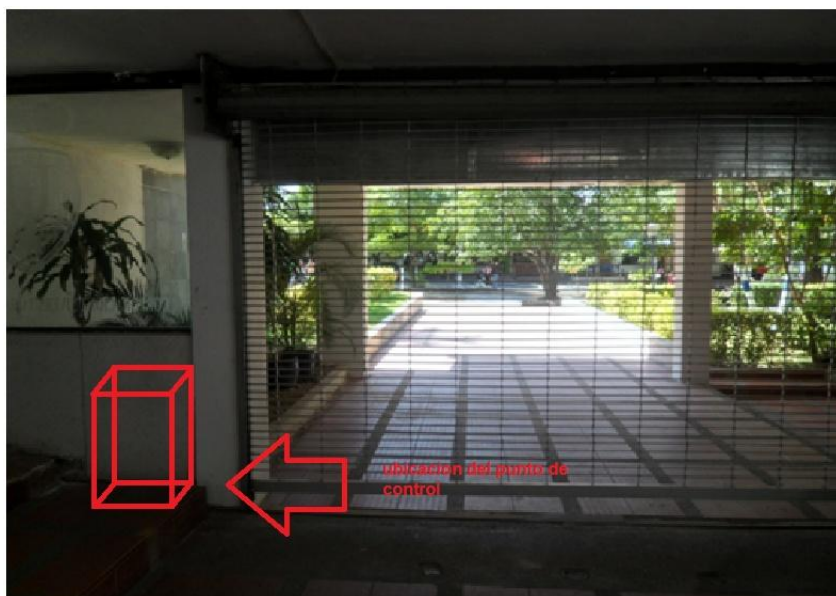




## Anexo 5. Ubicación de paneles solares y tanque



## Anexo 6. Ubicación del punto de control





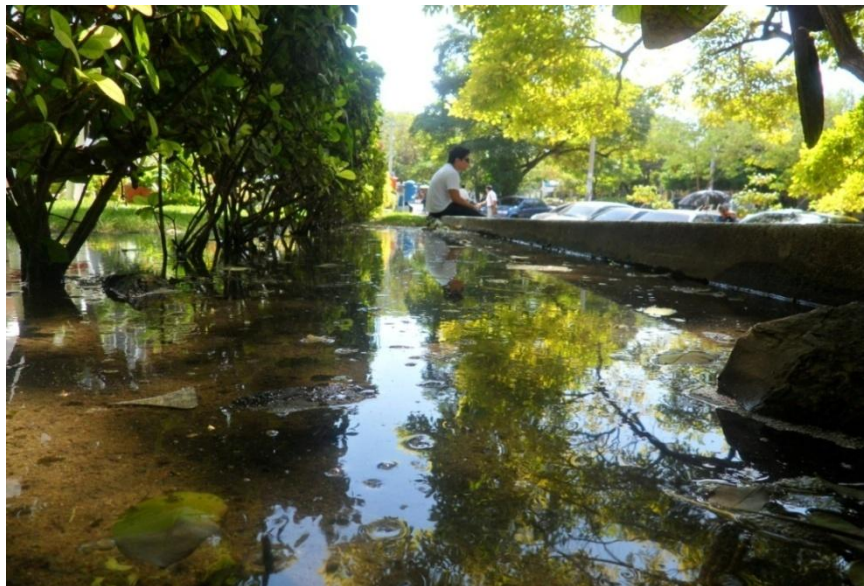
### Anexo 7. Uso deficiente de recursos



### Anexo 8. Riego inapropiado A



### Anexo 9. Riego inapropiado B



### Anexo 10. Pruebas a prototipo A





### Anexo 11. Pruebas a prototipo B



### Anexo 12. Pruebas a prototipo C



### Anexo 13. Espacio donde implementar prototipo

